



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz


**Sistema de indicadores para a avaliação da sustentabilidade hídrica da
expansão canavieira: contribuição metodológica para o planejamento e
gestão**

Rio de Janeiro

2012

Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz

**Sistema de indicadores para a avaliação da sustentabilidade hídrica da expansão
canavieira: contribuição metodológica para o planejamento e gestão**



Tese apresentada, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências, ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente - Doutorado Multidisciplinar - da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Mudanças Ambientais Globais

Orientadora: Prof.^a Dra. Margareth Simões Penello Meirelles

Coorientador: Prof. Dr. Vincent Jean Pierre Dubreuil

Rio de Janeiro

2012

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / CTC/A

F381 Ferraz, Rodrigo Peçanha Demonte.

Sistema de indicadores para a avaliação da sustentabilidade hídrica da expansão canavieira: contribuição metodológica para o planejamento e gestão / Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz. – 2012. 496 f.

Orientadora: Margareth Simões Penello Meirelles

Coorientador: Vincent Jean Pierre Dubreuil

Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

1. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Teses. 2.

Agroindústria canavieira – Teses. 3. Indicadores ambientais –

Teses. I. Meirelles, Margareth Simões Penello. II. Dubreuil, Vincent Jean Pierre. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV.

Título.

CDU

556.18(81)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese/dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz

**Sistema de indicadores para a avaliação da sustentabilidade hídrica da expansão
canavieira: contribuição metodológica para o planejamento e gestão**

Tese apresentada, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências, ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente - Doutorado Multidisciplinar - da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Mudanças Ambientais Globais

Aprovada em 30 de março de 2012.

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dra. Margareth Simões Penello Meirelles (Orientadora)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Prof^ª. Dra. Selma Simões de Castro
Universidade Federal de Goiás - UFG/IESA

Dra. Azeneth Eufrausino Schuler
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Solos

Prof^ª. Dra. Márcia Marques Gomes
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Prof^ª. Dra. Luciene Pimentel da Silva
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Rio de Janeiro

2012

DEDICATÓRIA

Ao meu pai e ao meu filho, Etienne (*in memoriam*) e Leonardo Demonte, que por um hiato de poucos meses não se encontraram nesta vida, mas, tenho a certeza que comigo estão e estaremos sempre juntos. A vocês, homens da minha vida, com todo amor, esta obra dedico.

AGRADECIMENTOS

No plano institucional muito tenho a agradecer...

Ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente - Doutorado Multidisciplinar - da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PPGMA-UERJ, por ter acolhido este projeto de pesquisa que ora se realiza;

Aos coordenadores do PPG-MA/UERJ, os Professores, Dr. Mario Soares, Dra. Mônica Regina Marques e Dr. Israel Felzenszwalb;

A todo o corpo docente do PPG-MA/UERJ, do qual, elejo simbolicamente como representantes às Professoras, Dra. Elza M. Neffa Vieira de Castro e Dra. Fátima T. Braga Branquinho, pelo idealismo na construção do desafiante ideal de edificar um curso de doutorado multidisciplinar em meio ambiente;

Ao Laboratório COSTEL da Universidade de Rennes 2 (Laboratoire Climat et Occupation du Sol par Télédétection/ Université Rennes-2) pela acolhida e valioso apoio para realização de parte deste trabalho;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa - pela oportunidade e meios institucionais para a realização dessa capacitação;

Ao Labex-Europa, nas figuras de seu coordenador, o Dr. Pedro Arcuri, e, da pesquisadora, a Dra Margareth Simões, pelo apoio ao projeto parcial de pesquisa com bolsa CNPq/Labex no Laboratório COSTEL da Universidade de Rennes 2;

Ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica - CNPq - pelo auxílio financeiro, por meio da bolsa CNPq/Labex, para a realização do estágio no exterior;

No plano pessoal muito tenho a agradecer...

A minha orientadora, a Dra. Margareth Simões, pela oportunidade proporcionada e pelo apoio, conhecimento e experiência, sem os quais não teria condições de realizar este trabalho;

Ao meu coorientador o Dr. Vincent Dubreuil do Laboratório COSTEL da Universidade de Rennes 2, pelo apoio e valiosa contribuição;

Aos pesquisadores colaboradores pela inestimável gentileza e presteza para a cessão de dados, modelos e metodologias que contribuíram de forma decisiva para a realização desta obra. Meus especiais agradecimentos ao Dr. Bernardo Rudorff do INPE, ao Dr. Celso V. Manzato chefe da Embrapa Meio Ambiente, à Dra. Maria G. da Silva Barbalho e o Dr.

Alfredo De-Campos da UFG, ao Dr. Balbino A. Evangelista da Embrapa Cerrados, a Dra. Rosilene Nicácio da UFAL, aos Dr. Steve Running e Dr. Qiaozhen Mu do NTSG - Numerical Terradynamic Simulation Group /University of Montana;

A todos os amigos e colegas pesquisadores que de uma forma ou de outra, direta ou indiretamente, contribuíram de modo singular para a realização deste trabalho, quer seja com sugestões, críticas, informações, ajudas diversas, ou, pelo simples, mas sempre valioso incentivo. Meus sinceros agradecimentos ao Dr. Fernando A. Macena da Silva da Embrapa Cerrados, aos Dr. Heitor L. C. Coutinho e Dra. Azeneth E. Schuler (Marysol) da Embrapa Solos, à Dra. Lucietta Martorano da Embrapa Amazônia Oriental; a Dra. Selma Simões de Castro da UFG, aos Dr. François Affholder e Dr. Florent Maraoux do CIRAD, ao Dr. Jean-Philippe Tonneau CIRAD/MTD, aos amigos Sandro E. Marschhausen Pereira da Embrapa Meio Ambiente e Luis Iván Ortiz Valencia da UFRJ e ao recém doutor Ronaldo A. dos Santos da ESALQ/USP;

A minha mãe Myrian, aos familiares e amigos próximos pelo apoio incondicional, mesmo que silencioso;

Ao meu filho Leonardo pela paciência, mesmo que inconsciente devido a sua pouca idade, das horas, dias, semanas e meses que o trabalho lhe privou da minha companhia e atenção;

À minha mulher, luz guia da minha vida, pelo encontro, cumplicidade e amor;

Por fim, no plano espiritual muito tenho a agradecer...

À Deus, pela inspiração de cada dia e por ter colocado todos no meu caminho.

Os problemas significativos com que nos deparamos não podem ser resolvidos no mesmo nível de pensamento em que estávamos quando os criamos.

Albert Einstein

RESUMO

FERRAZ, Rodrigo Peçanha Demonte. **Sistema de indicadores para a avaliação da sustentabilidade hídrica da expansão canavieira**: contribuição metodológica para o planejamento e gestão. 2012. 496 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

O objetivo precípua do presente trabalho consistiu na proposição, desenvolvimento metodológico e elaboração de um Sistema de Indicadores orientado para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica e monitoramento da atividade canavieira (SISH-Cana) em subsídio aos processos de ordenamento territorial, planejamento agrícola e gestão dos recursos hídricos. O Sistema de Indicadores (SI) SISH-Cana foi elaborado a partir de uma proposição metodológica de integração de diferentes estruturas conceituais de referência visando à modelagem conceitual do problema de gestão ambiental suscitado pelo caso tendencial da expansão da atividade canavieira sobre áreas do Cerrado Brasileiro, que em sua maior extensão, apresenta notório déficit hídrico sazonal, permitindo apenas o cultivo da cana-de-açúcar sob o regime de irrigação suplementar. A referida metodologia foi desenvolvida, deliberadamente, para atender os objetivos desta tese. Por meio desta foi possível elaborar o SI com uma concepção funcional e estruturação organizacional em módulos que conferiu ao mesmo satisfatória flexibilidade em termos de funcionalidade e aplicabilidade. O Sistema SISH-Cana foi concebido para atender a dois níveis de gestão - Estratégico e Tático – e realizar avaliações analíticas, diagnósticas e prognósticas, além de sínteses descritivas, por intermédio de indicadores diretos, relevantes, agregados na forma de índices adimensionais. Mas, com significado físico, derivados de dados públicos disponíveis ou dados extraídos de modelos espacializados simples o que constituiu uma das premissas da proposta. Para demonstrar a aplicabilidade do SISH-Cana , foram conduzidos dois *Estudos de Caso*. O primeiro estudo, orientado ao nível estratégica de gestão, consistiu na avaliação da favorabilidade ambiental, do potencial de sustentabilidade hídrica e no monitoramento do processo de expansão da cultura canavieira no período entre os anos-agrícolas de 2006/2007 a 2010/2011, ocorrido nas Microrregiões: *Sudoeste de Goiás; Vale do Rio dos Bois; Quirinópolis e Meia Ponte* - pertencentes à Mesorregião Sul Goiano, consideradas como relevantes focos (*hotspots*) da expansão canavieira no Estado de Goiás. O segundo estudo teve o mesmo propósito, mas, concentrou-se na avaliação da Bacia Hidrográfica do Rio Verde, situada na mesma mesorregião e estado federativo. Os resultados demonstram o potencial de aplicabilidade e funcionalidade do Sistema de Indicadores SISH-Cana proposto, no trato das questões ambientais explicitadas. Conclui-se que os propósitos e objetivos foram atingidos, validando-se a tese, uma vez que foi possível demonstrar o valor prático e gerencial do Sistema de Indicadores SISH-Cana . Considera-se, assim, ter contribuído com o desenvolvimento de metodologias orientadas para o planejamento setorial da agricultura e recursos hídricos.

Palavras-chave: Sistemas de Indicadores. Sustentabilidade Hídrica. Mudanças de Uso da terra. Cultura da cana-de-açúcar.

ABSTRACT

The goal of this work consisted in the proposition and methodological development and of an Indicators System aimed at evaluating the potential for water sustainability for sugarcane culture expansion in the allowance for agricultural and territorial planning and water resources management. The Indicators System (IS) SISH-Cana was drawn from a methodological proposal of integrating different conceptual frameworks of reference for conceptual modeling of environmental management problem raised by the case of sugarcane culture expansion trends on areas of the Brazilian Cerrado, which at its greatest extent, presents seasonal water deficit, allowing the sugarcane cultivation only under supplemental irrigation. This methodology has been deliberately designed to meet the goals of this thesis. Through this was possible to elaborate the IS with a functional design and organizational structure in modules which earned the same satisfactory flexibility in terms of functionality and applicability. The system was designed for to meet strategic and tactical management levels and analytical assessments, diagnostic and prognostic, as well as descriptive summaries, through direct, relevant indicators, aggregated as dimensionless ratios. But, with physical meaning, derived from available public data or data extracted from the simple espacializados models, which was one of the premises of the proposal. To demonstrate the applicability of SISH-Cana were conducted two case studies. The first study case, strategic level-oriented management, consisted in the assessment of environmental favorability, sustainability and water potential in monitoring the process of expansion of sugarcane cultivation in the period between the years-the 20062007 agricultural, 20102011 occurring within the micro-regions: Sudoeste de Goiás; Vale do Rio dos Bois; Quirinópolis and Meia Ponte, belonging to, considered as relevant hotspots of sugarcane expansion in the State of Goiás. The second study had the same purpose, but focused on the evaluation of Rio Verde basin, located in the same region and federal State. The results demonstrate the potential of applicability and functionality of the system of indicators proposed to deal of environmental issues explained. It is concluded that the purposes and objectives have been achieved, validating the thesis, since it was possible to demonstrate the managerial and practical value of the Indicator System SISH-Cana . It is, thus, have contributed to the development of methodologies oriented for agriculture and water resources planning.

Keywords: Systems of indicators. Water sustainability. Land use changes. Sugarcane cultivation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráficos: Produção de açúcar (A) e produção relativa de açúcar (B) (t), nacional, centro-sul, norte-nordeste e SP (safras de 1990 e 2009).	35
Figura 2 - Gráfico: Total acumulado das áreas destinadas à produção agrícola nacional; culturas soja, milho, cana, feijão, arroz, trigo; safras de 1990 e de 2009.	36
Figura 3 - Mapa: Áreas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar segundo o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009) e áreas ocupadas pela cultura da cana-de-açúcar (CANASAT-INPE ano base 2007).	37
Figura 4 - Mapa: Distribuição das áreas aptas à expansão da cana-de-açúcar em total de hectares de áreas aptas por município. Fonte:Embrapa (2009).....	37
Figura 5 - Mapa: Distribuição das áreas aptas à cana-de-açúcar em % de áreas aptas por município. Fonte:Embrapa (2009).	38
Figura 6 - Representação esquemática do modelo conceitual DPSIR (European Environment Agency - EEA, 2003).	75
Figura 7 - Diagrama da estrutura conceitual Impacto-probabilidade. Fonte: Adaptado de: CSIR et al. (2001).....	80
Figura 8 - Esquema geral da estrutura do Sistema de Indicadores para a Avaliação da Expansão e Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira....	117
Figura 9 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 1: IAFC _T ; IAFC _S e IAFC _I	137
Figura 10 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 2: IABH; IVNR e IRHT	154
Figura 11 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 3: IVCH e IALE.	166
Figura 12 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 4: IDHA; ICRH e IDHE.....	191
Figura 13 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 5: ICDH _{GI} ; ICDH _{GS} ; ICDH _{AI} ; ICDH _{AS} ; ICDH _{EI} ; ICDH _{ES} ; ICDH _{RI} ; ICDH _{RS}	206
Figura 14 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 6: IADH _{GI} ; IADH _{GS} ; IADH _{AI} ; IADH _{AS} ; IADH _{EI} ; IADH _{ES} ; IADH _{RI} ; IADH _{RS}	215
Figura 15 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 7: IOCC e IECC	226
Figura 16 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 8: ISAA; ISAP e ISVN.....	240

Figura 16 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento do indicador do grupo 9: IEAC.....	247
Figura 17 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 10: IESU; IESC _S e IESC _I	258
Figura 18 - Mapa com as áreas de ocupação em 2005/06 e expansão da cultura canavieira ocorrida no período de 2005/2006 a 2010/2011 na Mesorregião Sul Goiano - GO. Fonte: CANASAT/INPE	260
Figura 19 - Mapa com a localização geográfica da: Mesorregião Sul Goiano, no Estado de Goiás com as microrregiões: Sudoeste Goiano, Vale dos Rios dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte e municípios. Fonte: IBGE/SIEG	265
Figura 20. Modelo espacial da distribuição da precipitação média anual na da Mesorregião Sul Goiano. Fonte Adaptado de Evangelista (2011).....	267
Figura 21 - Excedente e déficit hídricos para o Estado de Goiás (janeiro e setembro). Fonte: Silva et al. (2006)	268
Figura 22 - Mapa de Geomorfologia da Mesorregião Sul Goiano. Fonte: SIEG - Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás / SEGPLAN / GOIÁS.....	271
Figura 23 - Mapa de Geologia da Mesorregião Sul Goiano. Fonte SIEG - Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás / SEGPLAN / GOIÁS.....	272
Figura 24. Mapa Hidrogeológico da Mesorregião Sul Goiano. Fonte SIEG - Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás / SEGPLAN / GOIÁS.....	275
Figura 25 - Mapa de Solos da Mesorregião Sul Goiano. Fonte Adaptado de ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009).....	278
Figura 26 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Mesorregião Sul Goiano. Fonte Adaptado de PROBIO (MMA 2004) e Canasat (INPE).	280
Figura 27 - Carta hidrográfica da Mesorregião Sul Goiano. Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas)	281
Figura 28 - Mapa de favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira na Mesorregião Sul Goiano. Fonte: Modelo adaptado do ZAE-Cana (Embrapa 2009).....	Erro! Indicador não definido.
Figura 29 - Esquema sumarizando a metodologia para o ajuste dos shapes, extração e cálculo dos Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática (IAFC, IAFS e IAIC).	292
Figura 30 - Mapa da hidrografia da Mesorregião Sul Goiano com a distribuição espacial das estações fluviométricas utilizadas no estudo de caso dos focos de	

expansão da cultura canavieira na Mesorregião Sul Goiano - GO. Fonte: ANA	298
Figura 31 - Mapas: (A) Precipitação média anual; (B) Modelo de bacias hidrográficas. Fonte. (A) Adaptado do modelo espacializado da precipitação média anual, elaborado por Evangelista (2011); (B) Adaptado do sistema de Ottobacias nº 5 adotado pela ANA	300
Figura 32 - Mapa das zonas hidrológicas homogêneas utilizadas para a elaboração do modelo de regionalização de vazões específicas para a Mesorregião Sul Goiano - GO.....	301
Figura 33 - Mapa das Vazões específicas médias de longo termo (qmlt) para a Mesorregião Sul Goiano - GO	303
Figura 34 - Mapa das Vazões específicas com 95% de permanência (q95) para a Mesorregião Sul Goiano - G	304
Figura 35 - (A) Mapa das Zonas Hidrológicas com as respectivas vazões específicas (qmlt) e o Município de Quirinópolis destacado em vermelho; (B) Figura do Município de Quirinópolis em destaque circunscrito em três Zonas Hidrológicas distintas constituindo subáreas (01, 02 e 03) com diferentes vazões específicas médias de longo termo.	305
Figura 36. Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração modelo de vazão específica, extração e cálculo dos indicadores de sustentabilidade hídrica (ICDHs, IAMEs, ICDHi, IAMEi).....	310
Figura 37 - Mapa: Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos da Mesorregião Sul Goiano - GO. Fonte: Adaptado de Barbalho e Campos (2010)	312
Figura 37 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração da carta temática de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos freáticos por município, extração e cálculo do indicador de sustentabilidade hídrica (IVCH).	315
Figura 38 - Mapa: Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos da Mesorregião Sul Goiano - GO.	317
Figura 39 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração das cartas de referência e shapes para o cálculo dos indicadores do Processo de Ocupação e Expansão da Cultura (IOCC e IECC).....	321
Figura 40 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração das cartas de referência e shapes para o cálculo dos indicadores Substituição de Atividades Agrícolas e Mudanças de Uso do Solo (ISAA, IASP e IASV).	325
Figura 41 - Esquemática da metodologia adotada para a elaboração do shape para o cálculo do indicador de Adequação do Processo de Expansão da Cultura Canavieira (IEAC).....	326

Figura 42 - Apresentação esquemática da metodologia adotada para o cálculo dos indicadores do processo de expansão sustentada da cultura canavieira (IESCs e IESCi).	328
Figura 43 - Gráfico: Índices e áreas favoráveis à cultura canavieira por microrregião.....	330
Figura 44 - Gráfico: Índices de vulnerabilidade e áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos freáticos por microrregião	333
Figura 45 - Gráfico: Índices de comprometimento da disponibilidade hídrica, volumes disponíveis e demanda hídrica potencial da atividade canavieira por sistema de produção e microrregião.....	337
Tabela 12 - Índices de comprometimento da disponibilidade hídrica, volumes disponíveis e demanda hídrica potencial da atividade canavieira por sistema de produção e microrregião.....	338
Figura 46 - Gráfico: Disponibilidade hídrica alocável e percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar da cultura canavieira por microrregião.	340
Figura 47 - Gráfico: Vazões específicas médias de longo termo, vazões específicas com 95% de permanência e percentuais.	342
Figura 48 - Gráfico: Áreas máximas de expansão sustentada por microrregião e índices de atendimento da demanda hídrica para a cultura canavieira.....	345
Figura 49. Gráficos: Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira (Módulo A do SISHM-Cana) para as microrregiões Meia Ponte (A) e Vale do Rio dos Bois (B).	347
Figura 50 - Gráficos: Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira (Módulo A do SISH-Cana) para as microrregiões de Quirinópolis (A) e Sudoeste de Goiás (B).....	348
Figura 51 - Gráfico: Áreas de ocupação, expansão total, expansão adequada e indicadores correspondentes.....	352
Figura 52 - Gráfico: Evolução das áreas cultivadas com a cultura canavieira entre o período dos anos agrícolas de 2005/2006 e 2010/2011, por microrregião e total.....	354
Figura 53 - Gráfico: Índices e áreas de expansão da cultura canavieira sobre áreas agrícolas, pastagens e vegetação nativa.	356
Figura 54 - Gráfico: Áreas máximas de expansão sustentada e indicadores: Índices de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira.	361
Figura 55 - Gráficos dos Indicadores do Processo de Expansão da Cultura Canavieira (Módulo B do SISH-Cana) para as microrregiões Meia Ponte (A) e Sudoeste de Goiás (B).	365

Figura 56 - Gráficos dos Indicadores do Processo de Expansão da Cultura Canavieira (Módulo B do SISHM-Cana) para as microrregiões do Vale do Rio dos Bois (A) e de Quirinópolis (B).	366
Figura 57 - Gráficos e Indicadores tabelados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Chapadão do Céu na Microrregião do Sudoeste de Goiás, GO.....	379
Figura 58 - Gráficos e Indicadores tabelados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Portelândia na Microrregião do Sudoeste de Goiás, GO.....	381
Figura 59 - Gráficos e Indicadores Figurados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Itajá na Microrregião de Quirinópolis, GO.	383
Figura 60 - Gráficos e Indicadores tabelados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Palminópolis na Microrregião do Vale do Rio dos Bois, GO.	385
Figura 61 - Gráficos e Indicadores tabelados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Porteirão na Microrregião de Meia Ponte, GO.....	387
Figura 62 - Gráficos e Indicadores tabelados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Serranópolis na Microrregião de Sudoeste de Goiás, GO.....	389
Figura 63 - Gráficos e Indicadores Figurados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Buriti Alegre na Microrregião de Meia Ponte, GO.....	391
Figura 64 - Gráficos e Indicadores Figurados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de	

expansão da cultura canavieira; para o Município de Mineiros na Microrregião do Sudoeste de Goiás, GO.	392
Figura 65 - Gráficos e Indicadores Figurados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Rio Verde na Microrregião do Sudoeste de Goiás, GO.	394
Figura 66 - Gráficos e Indicadores Figurados: (A) Módulo 1A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo 1B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Caçu na Microrregião de Quirinópolis, GO.	396
Figura 66 - Seções (UTAs) e Estações Fluviométricas (Maurilândia; Ponte do Rio Verdão e ponte de Rodagem) adotadas para o Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO.	417
Figura 67 - Cartas de Geomorfologia e Geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Verde,GO.	420
Figura 68 - Cartas de Hidrogeologia e Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde,GO. Fonte: SIEG -/ SEGPLAN / GOIÁS; ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009).....	421
Figura 69 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Verde – GO. Fonte: CANASAT/INPE e PROBIO (MMA, 2002).....	422
Figura 70 - Cartograma (A) mostrando a localização dos pontos verificados a campo e fotografias de alguns padrões de uso do solo encontrados: (B) Cultura da cana-de-açúcar; (C) Cultura de milho; (D) Cultura de soja.	426
Figura 71 - Mapa de Uso e Cobertura do solo 2006/2007 para a Bacia do Rio Verde. Fonte: Adaptação de Ferreira et al. (2009), CANASAT/INPE e PROBIO (MMA, 2002)	427
Figura 72 - Mapa de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos para a Bacia do Rio Verde. . Fonte: Adaptado de Barbalho e Campos (2010)	432
Figura 73 - Mapa de Favorabilidade Edafoclimática para a Bacia do Rio Verde. Fonte: Adaptado do ZAE-CANA/Embrapa (2009).....	434
Figura 74 - Gráfico: Antropização da Bacia Hidrográfica do Rio Verde – GO.....	439
Figura 75. - Gráficos: Retirada Hídrica Total e indicador IRHT - Seção 1, 2 e 3.....	440
Figura 76 - Gráficos: Disponibilidade Hídrica Alocável e indicador IDHA - Seção 1, 2 e 3.....	441
Figura 77 - Gráficos: Capacidade de Reserva Hídrica e indicador ICRH - Seção 1, 2 e 3... ..	442
Figura 78 - Gráficos: Disponibilidade Hídrica Explotável e indicador IDHE - Seção 1, 2 e 3.	443

Figura 79 - Gráfico: Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos.....	443
Figura 80 - Gráfico: Área limite de expansão sustentável e indicador IALE - Seção 1, 2 e 3.....	444
Figura 81 - Gráfico: Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória e indicador IAFC _I - Seção 1, 2 e 3.....	445
Figura 82 - Gráficos: Comprometimento da disponibilidade hídrica alocável e indicador ICDH _{AI} , e, atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira em sistema de irrigação e indicador IADH _{AI} - Seção 1, 2 e 3.....	445
Figura 83 - Gráficos: Comprometimento da disponibilidade hídrica explotável e indicador ICDH _{EI} , e, atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira em sistema de irrigação e indicador IADH _{EI} - Seção 1, 2 e 3.....	447
Figura 84 - Gráficos: Capacidade de reserva hídrica e indicador ICDH _{RI} , e, Atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira em sistema de irrigação e indicador IADH _{RI} - Seção 1, 2 e 3.	447
Figura 85 - Gráficos: (A) Área de ocupação da cultura canavieira - 2010/2011 e indicador IOCC; (B) Área de expansão da cultura canavieira - 2006/2011 e indicador IECC; (C) Área relativa de expansão da cultura canavieira - 2006/2011; (D) Área de expansão adequada da cultura canavieira - 2006/2011 e indicador IEAC - Seção 1, 2 e 3.....	449
Figura 86 - Gráfico: Áreas de substituição das atividades agropecuárias e supressão da vegetação nativa e indicadores ISAA, ISVN, ISAP - Seção 1, 2 e 3.....	451
Figura 87 - Gráficos: (A) Expansão sustentada da cultura canavieira e indicador IESC ISVN; (B) Expansão sustentável da cultura canavieira e indicador IESU - Seção 1, 2 e 3.....	453
Figura 88 - Gráficos e valores Figurados dos indicadores do Módulo 2A: Indicadores do Potencial das UTAs para o Desenvolvimento Sustentável da Atividade Canavieira; referentes às seções da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO....	454
Figura 89 - Gráficos e valores Figurados dos indicadores do Módulo 2B: Indicadores do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; referentes às seções da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO..	455
Figura 90 - Gráficos e valores Figurados dos indicadores do Módulo 2C: Indicadores do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; referentes às seções da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO. .	456
Figura 91 - Gráficos e valores Figurados dos indicadores do Módulo 2D: Indicadores do Processo de Expansão da Cultura Canavieira; referentes às seções da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO.....	457

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações geográficas da área do Estudo de Caso dos Focos de Expansão da Cultura Canavieira na Mesorregião Sul do Estado de Goiás	261
Tabela 2 - Municípios da Microrregião: Sudoeste de Goiás - Mesorregião Sul Goiano.....	262
Tabela 3 - Municípios da Microrregião: Vale do Rio dos Bois - Mesorregião Sul Goiano.	262
Tabela 3 - Municípios da Microrregião: Vale do Rio dos Bois - Mesorregião Sul Goiano.	263
Tabela 4 - Municípios da Microrregião: Quirinópolis - Mesorregião Sul Goiano.....	263
Tabela 5 - Municípios da Microrregião: Meia Ponte - Mesorregião Sul Goiano.....	264
Tabela 6 - Cálculo da média ponderada das vazões específicas: (i) Vazão específica média de longo termo e; (ii) Vazão específica com 95% de permanência; para o Município de Quirinópolis	306
Tabela 7 - Procedimento para calcular a Disponibilidade Hídrica Geral dos municípios estudados, constando os dados do Município de Quirinópolis	306
Tabela 8 - Procedimento para calcular a Demanda Hídrica Total da atividade canavieira nos dos municípios estudados, constando os dados do Município de Quirinópolis.....	309
Tabela 9 - Diferenças das áreas: Área Total Cultivada e Área Total Cultivada ajustada. (continua)	318
Tabela 10 - Índices e áreas favoráveis para o cultivo da cultura canavieira por microrregião	331
Tabela 11 - Índices de vulnerabilidade e áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos pela vinhaça, por microrregião.....	334
Tabela 12 - Índices de comprometimento da disponibilidade hídrica, volumes disponíveis e demanda hídrica potencial da atividade canavieira por sistema de produção e microrregião.....	338
Tabela 13 - Disponibilidade hídrica alocável e percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar da cultura canavieira por microrregião. ..	341
Tabela 14 - Vazões específicas médias de longo termo, vazões específicas com 95% de permanência e percentuais.	343
Tabela 15 - Áreas máximas de expansão sustentada por microrregião e indicadores correspondentes.....	346
Tabela 16 - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira por microrregião.....	349
Tabela 17 - Áreas de ocupação, expansão Total, expansão adequada e indicadores correspondentes.....	353

Tabela 18 - Índices e áreas de expansão da cultura canavieira sobre áreas agrícolas, pastagens e vegetação nativa.....	357
Tabela 19 - Áreas máximas de expansão sustentada e indicadores: Índices de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira.	362
Tabela 20 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião de Meia Ponte.	367
Tabela 21 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião do Sudoeste de Goiás.....	370
Tabela 22 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião do Vale do Rio dos Bois.	370
Tabela 23 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião de Quirinópolis.	372
Tabela 24 - Indicadores de avaliação do processo de expansão da atividade canavieira para os municípios da Microrregião de Meia Ponte.....	374
Tabela 25 - Indicadores de avaliação do processo de expansão da atividade canavieira para os municípios da Microrregião do Sudoeste de Goiás.	375
Tabela 26 - Indicadores de avaliação do processo de expansão da atividade canavieira para os municípios da Microrregião do Vale do Rio dos Bois.....	376
Tabela 27 - Indicadores de avaliação do processo de expansão da atividade canavieira para os municípios da Microrregião de Quirinópolis.....	377
Tabela 28 - Seleção dos municípios com no mínimo 20% das suas áreas territoriais favoráveis a produção canavieira em sistema de irrigação suplementar e com comprometimento da disponibilidade hídrica até no máximo igual a 30%.....	399
Tabela 29 - Seleção dos municípios com favorabilidade exclusiva para a produção canavieira em sistema de sequeiro e/ou com menos de 5% de áreas propícias para o cultivo em sistema de irrigação suplementar.	402
Tabela 30 - Seleção dos municípios com 50% ou mais de comprometimento da disponibilidade hídrica.	403
Tabela 31 - Seleção dos municípios com mais de 40% de comprometimento da disponibilidade hídrica acumulado para o sistema de sequeiro e de irrigação e com mais de 60% de áreas favoráveis a cultura canavieira.....	405
Tabela 32 - Seleção dos municípios com mais de 5% de expansão no período de 2005/2006 a 2010/2011 e indicadores de adequação e de mudanças de uso da terra e cobertura do solo.	407
Tabela 33 - Seleção dos municípios com mais de 5% de expansão no período de 2005/2006 a 2010/2011 e indicadores de sustentabilidade hídrica.	409

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Processos e condições ambientais relacionados ao problema ambiental modelado: Expansão Canavieira e Sustentabilidade Hídrica (PDSIR).....	77
Quadro 2 - Propriedades do modelo Impacto-probabilidade adaptado para avaliar o problema de gestão ambiental.....	82
Quadro 3 - Evidências para o enquadramento do caso - expansão da cultura canavieira sobre a Mesorregião sul Goiano - como um Tema/Problema Emergente.	84
Quadro 4 - Avaliação da pertinência dos Pontos Focais, referentes aos processos e condições ambientais, modelados para a estruturação do Sistema de Indicadores.....	86
Quadro 5 - Linhas de Gestão, Eixos de Gestão, Tipos de Indicadores e processos relacionados.	89
Quadro 6 - Linhas de Gestão e perguntas focalizadas.....	95
Quadro 7 - Unidades Territoriais de Análise (UTAs) por nível de gestão.	104
Quadro 8 - Estrutura organizacional do Sistema de Indicadores SISH-Cana.	109
Quadro 9 - Critérios de seleção de indicadores do SISH-Cana.....	115
Quadro 10 - Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira.....	137
Quadro 11 - Categoria 2: Indicadores do estágio de desenvolvimento socioeconômico e antropização das bacias hidrográficas.....	153
Quadro 12 - Categoria 3: Indicadores da vulnerabilidade dos mananciais hídricos e da susceptibilidade da produção hídrica da bacia.....	165
Quadro 13 - Categoria 4: Indicadores da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira.....	190
Quadro 14 - Categoria 5: Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira.....	205
Quadro 15 - Categoria 6: Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira.	214
Quadro 16 - Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira.	225
Quadro 17 - Categoria 8: Indicadores de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa.	239
Quadro 18 - Grupo 9: Indicadores da adequabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.	246
Quadro 19 - Grupo 10: Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira	257

Quadro 20 - Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática para a cultura canavieira.	284
Quadro 21 - Critérios de risco climático utilizados no ZAE-Cana.....	286
Quadro 22 - Classes de aptidão edafoclimática utilizadas no ZAE-Cana.	288
Quadro 23 - Legenda final utilizada no ZAE-Cana.....	289
Quadro 24 - Cruzamento entre a aptidão edáfica e climática e determinação das áreas favoráveis.....	290
Quadro 25 - Indicadores de sustentabilidade hídrica (2º Grupo do Módulo A do Nível Estratégico do SISH-Cana).	293
Quadro 26 - Indicador: Índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos e respectiva fórmula matemática	311
Quadro 27 - Classes de condutividade hidráulica dos solos por classes pedológicas.	313
Quadro 28 - Classes de declividade do terreno.	313
Quadro 29 - Potencial de infiltração em relação à declividade e a condutividade hidráulica.....	313
Quadro 30 - Potencial de escoamento superficial em relação à declividade e a condutividade hidráulica	314
Quadro 31 - Classes de vulnerabilidade das terras à contaminação dos mananciais hídricos conforme o potencial de infiltração e escoamento superficial e pesos associados.....	314
Quadro 32 - Indicadores do Processo de Ocupação e Expansão da Cultura.	316
Quadro 33 - Indicadores de Substituição de Atividades Agrícolas e Mudanças de Uso do Solo.	322
Quadro 34 - Indicador de Adequação do Processo de Expansão da Cultura Canavieira.	325
Quadro 35 - Indicadores do Processo de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira.	327
Quadro 36 - Grupo 1 do Módulo 2A do SISH-CANA : Indicadores do estágio de alteração/antropização do uso e ocupação do solo.	424
Quadro 37 - Grupo 2 da Módulo 2A do SISH-CANA: Indicador do grau de exploração dos recursos hídricos.....	428
Quadro 38 - Grupo 3 da Módulo 2A do SISH-CANA: Indicadores da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea	429
Quadro 39 - Grupo 5 da Módulo 2A do SISH-CANA: Indicador da Susceptibilidade da Bacia à Alteração Hidrossedimentológica.	431
Quadro 40 - Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira.....	433
Quadro 41 - Grupo 2 da Módulo 2B do SISH-Cana (Blocos 1 e 2): Indicadores de disponibilidade hídrica para a atividade canavieira em sistema de sequeiro e de irrigação compulsória.	435

Quadro 42 - Grupo 1 da Módulo 2C do SISH-Cana: Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira.	436
Quadro 43 - Grupo 2 da Módulo 2C do SISH-Cana: Indicadores de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa.	436
Quadro 44 - Grupo 3 da Módulo 2C do SISH-Cana: Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.....	437

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	32
1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	39
1.1	Definição do problema de pesquisa	39
1.2	Justificativa	39
1.3	Hipótese	41
1.4	Objetivos	41
1.4.1	<u>Objetivo geral</u>	41
1.4.2	<u>Objetivos específicos</u>	42
1.5	Resultados esperados	43
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	45
2.1	<u>Indicadores</u>	45
2.1.1	<u>Conceito, finalidade e aplicação dos indicadores.</u>	45
2.1.2	<u>Estruturas conceituais de referência</u>	50
3	REFERENCIAIS TEÓRICOS	51
3.1	Sustentabilidade ambiental e desenvolvimento sustentável	51
3.2	Sustentabilidade hídrica	56
3.3	Indicadores	58
3.4	Planejamento ambiental	58
4	MARCOS REGULATÓRIOS	62
4.1	Marcos regulatórios legais relacionados aos recursos hídricos	62
4.1.1	<u>Agenda 21</u>	62
4.1.2	<u>Leis Nacionais de Recursos Hídricos</u>	63
4.1.3	<u>Legislação complementar sobre os recursos hídricos</u>	63
4.2	Marcos regulatórios legais e programáticos relacionados à atividade canavieira	64
4.2.1	<u>Plano Nacional de Agroenergia</u>	64
4.2.2	<u>Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar no Brasil - ZAE-Cana</u>	65
5	METODOLOGIA GERAL	67
5.1	Abordagem metodológica geral	67
5.2	Metodologias e procedimentos metodológicos específicos	68

6	PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A ELABORAÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO E POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA	69
6.1	Introdução	69
6.2	Fundamentação teórica	69
6.2.1	<u>Estruturas conceituais</u>	69
6.3	Modelagem conceitual do problema ambiental	72
6.3.1	<u>Objetivo e justificativa</u>	72
6.3.2	<u>Descrição da estrutura conceitual de referência: DPSIR</u>	72
6.3.3	<u>Descrição do caso - expansão canavieira e os recursos hídricos - com base na estrutura conceitual de referência: DPSIR</u>	75
6.4	Modelagem conceitual do tema/problema de gestão ambiental	79
6.4.1	<u>Justificativa e objetivo</u>	79
6.4.2	<u>Descrição da estrutura conceitual de referência: impacto-probabilidade</u>	79
6.4.3	<u>Descrição do tema/problema de gestão com base na estrutura conceitual de referência: Impacto-probabilidade</u>	82
6.4.3.1	Justificativa e objetivo	83
6.4.3.2	Descrição do tema /problema de gestão.....	83
6.5	Integração das modelagens conceituais do problema ambiental e do problema de gestão ambiental	85
6.5.1	<u>Justificativa e objetivo</u>	85
6.5.2	<u>Seleção dos processos e condições relevantes (pontos focais) por redução da pertinência</u>	86
6.6	Estabelecimento das linhas de gestão	89
6.7	Estabelecimento das questões de gestão	93
6.8	Estabelecimento das premissas e especificações do sistema de indicadores	98
6.8.1	<u>Definição do objetivo ou da aplicação do sistema de indicadores</u>	98
6.8.2	<u>Especificação e delimitação do sistema de indicadores quanto ao nível de gestão</u> .	99
6.8.2.1	Fundamentação teórica	99
6.8.2.2	Estabelecimento dos níveis de gestão do sistema de indicadores.....	101
6.9	Determinação da dimensão espaço-temporal do sistema de indicadores	102
6.9.1	<u>Justificativa e objetivo</u>	102
6.9.2	<u>Espacialidade do sistema de indicadores - Unidades Territoriais de Análise</u>	102

6.9.3	<u>Temporalidade do sistema de indicadores - periodicidade de análise</u>	104
6.9.4	<u>Estabelecimento dos Eixos de Gestão do sistema de indicadores</u>	105
6.9.5	<u>Delimitação temática, área de conhecimento e setor de aplicação do sistema de indicadores</u>	106
6.9.6	<u>Determinação do perfil dos usuários</u>	107
6.9.7	<u>Determinação da flexibilidade e funcionalidade do sistema de indicadores.</u>	108
6.10	Concepção funcional e estruturação organizacional do sistema de indicadores	108
6.11	Estabelecimento das questões-chave	111
6.12	Estabelecimento de critérios de seleção de indicadores	113
6.12.1	<u>Tipologia e classificação</u>	113
6.12.2	<u>Propriedades qualitativas</u>	114
6.12.3	<u>Nível de agregação da informação e intervalo de variação</u>	115
7	ELABORAÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO E POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA	118
7.1	Proposição, apresentação e descrição dos indicadores componentes do SISH-Cana	118
7.1.1	<u>Categoria 1: Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira</u>	120
7.1.1.1	Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira (IAFC _T)	121
7.1.1.2	Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (IAFC _S)	126
7.1.1.3	Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (IAFC _I)	131
7.1.1.4	Indicadores da Categoria 1 e aplicação no SISH-Cana.....	136
7.1.2	<u>Categoria 2: Indicadores do estágio de desenvolvimento socioeconômico e antropização das bacias hidrográficas</u>	138
7.1.2.1	Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica -IABH.....	139
7.1.2.2	Índice de Vegetação Natural Remanescente - IVNR.....	144
7.1.2.3	Índice de Retirada Hídrica Total (IRHT).....	148
7.1.2.4	Indicadores da Categoria 2 e aplicação no SISH-Cana.....	153
7.1.3	<u>Categoria 3. Indicadores da vulnerabilidade dos mananciais hídricos e da susceptibilidade da produção hídrica da bacia</u>	155
7.1.3.1	Índice de Vulnerabilidade à Contaminação Hídrica (IVCH).....	155

7.1.3.2	Índice de Área Limite de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira (IALE)...	160
7.1.3.3	Indicadores da Categoria 3 e aplicação no SISH-Cana.....	165
7.1.4	<u>Categoria 4. Indicadores da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira.....</u>	166
7.1.4.1	Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável (IDHA)	166
7.1.4.2	Índice de Capacidade de Reserva Hídrica (ICRH)	174
7.1.4.3	Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável (IDHE).....	180
7.1.4.4	Indicadores da Categoria 4 e aplicação no SISH-Cana.....	190
7.1.5	<u>Categoria 5. Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira.....</u>	191
7.1.5.1	Índices de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (ICDHs).....	192
7.1.5.2	Indicadores da Categoria 5 e aplicação no SISH-Cana.....	205
7.1.6	<u>Categoria 6. Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira.....</u>	206
7.1.6.1	Índices de Atendimento da Demanda Hídrica da Atividade Canavieira (IADHs)	207
7.1.6.2	Indicadores da categoria 6 e aplicação no SISH-Cana	214
7.1.6.3	Categoria 7. Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira	215
7.1.6.4	Índice de Ocupação da Cultura Canavieira (IOCC).....	215
7.1.6.5	Índice de Expansão da Cultura Canavieira (IECC)	219
7.1.6.6	Indicadores da categoria 7 e aplicação no SISH-Cana	225
7.1.7	<u>Categoria 8. Indicadores de substituição de atividades agropecuárias e supressão da vegetação nativa pela cultura canavieira</u>	226
7.1.7.1	Índice de Substituição de Áreas Agrícolas (ISAA). e Índice de Substituição de Áreas com pastagens (ISAP).....	227
7.1.7.2	Índice de Supressão da Vegetação Nativa (ISVN).	235
7.1.7.3	Indicadores da categoria 8 e aplicação no SISH-Cana	239
7.1.8	<u>Categoria 9. Indicadores da adequabilidade do processo de expansão da cultura canavieira</u>	241
7.1.8.1	Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira (IEAC).....	241
7.1.8.2	Indicador da categoria 9 e aplicação no SISH-Cana.....	246
7.1.9	<u>Categoria 10. Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.</u>	247
7.1.9.1	Índices de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira (IESC).....	248

7.1.9.2	Índices de Expansão Sustentável da Cultura Canaveira (IESU).....	253
7.1.9.3	Aplicação dos Indicadores do Grupo 10 no SISH-Cana.....	257
8	APLICAÇÃO DO SISH-CANA NO NÍVEL DE GESTÃO ESTRATÉGICA: ESTUDO DE CASO DOS FOCOS DE EXPANSÃO DA CULTURA CANAVEIRA NA MESORREGIÃO SUL DO ESTADO DE GOIÁS.....	259
8.1	Introdução.....	259
8.2	Delineamento do estudo de caso	259
8.2.1	<u>Objetivo do estudo de caso</u>	259
8.2.2	<u>Delimitação da área de estudo de caso.....</u>	259
8.3	Estruturação do estudo de caso	265
8.4	Diagnóstico Ambiental da Área de Estudo de Caso.....	266
8.4.1	<u>Clima.....</u>	266
8.4.2	<u>Geomorfologia</u>	269
8.4.3	<u>Geologia.....</u>	272
8.4.4	<u>Hidrogeologia.....</u>	273
8.4.5	<u>Solos.....</u>	275
8.4.6	<u>Uso e cobertura do solo.....</u>	278
8.4.7	<u>Hidrografia.....</u>	280
8.5	Desenvolvimento do estudo de caso.....	281
8.5.1	<u>Procedimentos Metodológicos.....</u>	281
8.5.1.1	Principais etapas e recursos computacionais	281
8.5.1.2	Sistema de coordenadas e de projeção adotado	282
8.5.1.3	Procedimentos metodológicos e critérios adotados para o cálculo dos indicadores.....	283
8.6	Apresentação e discussão dos resultados	328
8.6.1	<u>Estudo 1: Avaliação analítica do potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canaveira nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.....</u>	328
8.6.1.1	Avaliação do potencial edafoclimático das UTAs para o cultivo da cultura canaveira.....	329
8.6.1.2	Avaliação da vulnerabilidade das UTAs quanto ao risco de contaminação dos mananciais hídricos.....	332

8.6.1.3	Avaliação do potencial hídrico das UTAs para o desenvolvimento da atividade canavieira.	336
8.6.1.4	Avaliação do potencial das UTAs para a expansão sustentada da cultura canavieira.	343
8.6.2	<u>Estudo 2: Descrição sintética do potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.</u>	346
8.6.3	<u>Estudo 3: Avaliação analítica do processo de expansão da cultura canavieira ocorrida no período de 2005/2006 a 2010/2011 nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.</u>	350
8.6.3.1	Avaliação da área de ocupação, intensidade e adequação do processo de expansão da cultura canavieira.	351
8.6.3.2	Avaliação do processo de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa.	355
8.6.3.3	Avaliação do processo de expansão sustentada da cultura canavieira nas microrregiões: Meia Ponte, Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Quirinópolis.	360
8.6.4	<u>Estudo 4: Descrição sintética do processo de expansão da atividade canavieira ocorrido no período de 2005/2006 a 2010/2011 nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.</u>	363
8.6.5	<u>Estudo 5: Avaliação geral do potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira nos municípios das microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.</u>	367
8.6.6	<u>Estudo 6: Avaliação geral do processo de expansão da atividade canavieira ocorrida no período de 2005/2006 a 2010/2011 nos municípios das microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.</u>	373
8.6.7	<u>Estudo 7 - Descrição sintética do potencial de sustentabilidade hídrica e do processo de expansão da atividade canavieira durante o período de 2005/2006 a 2010/2011, de dez municípios contrastantes das microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.</u>	378
8.6.8	<u>Estudo 8: Exemplos da utilização do SISH-Cana para a realização de consultas, seleção e ranqueamentos entre os municípios das microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.</u>	397
8.7	Conclusões gerais sobre o estudo de caso.	410
8.8	Considerações sobre as metodologias, critérios e a aplicação do SISH-Cana no estudo de caso	412

9	APLICAÇÃO DO SISH-CANA NO NÍVEL DE GESTÃO TÁTICA: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE, ESTADO DE GOIÁS.....	415
9.1	Introdução.....	415
9.2	Delineamento do Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO	415
9.2.1	<u>Objetivo do Estudo de Caso da BH do Rio Verde – GO</u>	415
9.2.2	<u>Delimitação da Área de Estudo de Caso da BH do Rio Verde – GO</u>	416
9.2.3	<u>Estruturação do Estudo de Caso da BH do Rio Verde – GO.....</u>	417
9.3	Descrição Ambiental da BH do Rio Verde – GO	418
9.3.1	<u>Localização Geográfica da BH do Rio Verde – GO.....</u>	418
9.3.2	<u>Diagnóstico ambiental da Área de Estudo de Caso</u>	419
9.4	Desenvolvimento do Estudo de Caso da BH do Rio Verde – GO	422
9.4.1	<u>Principais etapas e recursos computacionais.</u>	422
9.4.2	<u>Sistemas de coordenadas e de projeção adotados para a base de dados espaciais utilizados no Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO.</u>	423
9.4.3	<u>Procedimentos metodológicos e critérios adotados para o cálculo dos indicadores da Parte 2- Nível Tático do SISH-CANA</u>	424
9.4.3.1	Procedimento metodológico 1	424
9.4.3.2	Procedimento metodológico 2	428
9.4.3.3	Procedimento metodológico 3	429
9.4.3.4	Procedimento metodológico 4	431
9.4.3.5	Procedimento metodológico 5	432
9.4.3.6	Procedimento metodológico 6	434
9.4.3.7	Procedimento metodológico 7	435
9.4.3.8	Procedimento metodológico 8	436
9.4.3.9	Procedimento metodológico 9	437
9.4.4	<u>Apresentação e discussão dos resultados do estudo de caso da BH do Rio Verde - GO.....</u>	438
9.4.4.1	Análise do potencial de desenvolvimento sustentável da BH do Rio Verde - GO para a atividade canavieira.	438
9.4.4.2	Análise do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira em sistema de irrigação e sequeiro na BH do Rio Verde - GO.	444
9.4.4.3	Análise do processo de expansão da cultura canavieira em curso na BH do Rio Verde - GO, durante o período de 2006/2007 a 2010/2011.....	448

9.4.4.4	Síntese descritiva do potencial de sustentabilidade hídrica e do processo de expansão da cultura canavieira ocorrido no período de 2006/2007 a 2010/2011 na BH do Rio Verde - GO.....	454
10	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	462
10.1	Conclusões	462
10.2	Considerações finais	465
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	470
	ANEXO A - Descrição dos indicadores do Módulo A e B da Parte 1 – Nível Estratégico	480
	ANEXO B - Descrição dos indicadores do Módulo A e C da Parte 2 – Nível Tático.....	481
	ANEXO C - Descrição dos indicadores do Módulo B, Bloco 1 e 2 da Parte 2 – Nível Tático	482
	ANEXO D – Lista dos indicadores para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica para as microrregiões Meia Ponte e Quirinópolis.....	483
	ANEXO E – Lista dos indicadores para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica para as microrregiões Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois	484
	ANEXO F – Lista dos indicadores para a avaliação do processo de expansão da atividade canavieira nas microrregiões Meia Ponte e Quirinópolis.....	485
	ANEXO G – Lista dos indicadores para a avaliação do processo de expansão da atividade canavieira nas microrregiões Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois.....	486
	ANEXO H - Lista de estação fluviométricas da ANA utilizadas para a regionalização das vazões específicas (qmlt e q95%).....	487
	ANEXO I - Lista de estação fluviométricas da ANA utilizadas e as correções para a realização da análise de consistência e preenchimento de falhas e extensão de series fluviométricas.....	488
	ANEXO J – Parâmetros hidrológicos:vazões específicas para as microrregiões de Meia Ponte e Quirinópolis.....	489
	ANEXO K – Parâmetros hidrológicos:volumes hídricos disponíveis para as microrregiões de Meia Ponte e Quirinópolis.....	490
	ANEXO L – Parâmetros hidrológicos:vazões específicas para as microrregiões de Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois.....	491

ANEXO M – Parâmetros hidrológicos:volumes hídricos disponíveis para as microrregiões de Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois.....	492
ANEXO N – Balanço da demanda hídrica para a irrigação nas microrregiões de Meia Ponte e Quirinópolis.....	493
ANEXO O – Balanço da demanda hídrica para a irrigação nas microrregiões de Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois.....	494
ANEXO P – Balanço da demanda hídrica para o processamento industrial da produção potencial de cana-de-açúcar nas microrregiões de Meia Ponte e Quirinópolis.....	495
ANEXO Q – Balanço da demanda hídrica para o processamento industrial da produção potencial de cana-de-açúcar nas microrregiões de Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois.	496

INTRODUÇÃO

O presente documento tem como propósito apresentar a Tese de Doutorado, intitulada: *Sistema de Indicadores para a Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica e Monitoramento da Atividade Canavieira* – como requisito parcial para o pleito do grau de Doutor em Meio Ambiente na área de concentração de “Mudanças Ambientais” pelo Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente - Doutorado Multidisciplinar da Universidade do Estado do Rio de Janeiro PPGMA /UERJ.

O incremento da demanda global por bens primários, notadamente as commodities agrícolas, acompanhando as tendências de crescimento populacional e aumento do consumo *per capita*, tem impulsionado, nas últimas décadas, a expansão da agricultura e a intensificação da exploração dos recursos naturais, cujos efeitos de transformação em escala global da paisagem e a magnitude dos impactos ecológicos nos sistemas naturais têm atingido proporções sem precedentes na história do desenvolvimento da civilização (JOBÁGY *et al.*, 2005). Por isso, a crescente influência das atividades humanas no funcionamento e equilíbrio dos ecossistemas naturais tem merecido, cada vez mais, atenção da comunidade científica e muitas evidências das interações entre as ações antrópicas e os processos de degradação ambiental têm sido documentadas. A deterioração ambiental tem sido observada como consequência direta das atividades socioeconômicas, em particular, a decorrência da exploração agropecuária que atinge o meio rural e pressiona os ecossistemas naturais. Destaca-se, desta forma, os desflorestamentos massivos, a fragmentação de ecossistemas, a vertiginosa perda da biodiversidade, os severos processos erosivos, alterações na dinâmica hidrossedimentológica das bacias hidrográficas, escassez dos recursos hídricos e a extensa degradação dos solos, como alguns dos processos extensamente relatados (VITOUSEK *et al.*, 1997, MEYER & TURNER, 1994; e SALA & PARUELO, 1997).

Diversas são as formas antropogênicas de transformação das paisagens e ecossistemas terrestres e, dentre estas, destaca-se como forte característica da ação humana, as notáveis mudanças de uso e cobertura da terra associadas à exploração agropecuária. Não é por outra razão que, hoje em dia, dentro da comunidade científica, existe um crescente reconhecimento de que as mudanças de uso e cobertura da terra constituem um dos principais fatores condicionantes das mudanças globais do meio ambiente (MEYER & TURNER 1994).

Uma das características singulares dos sistemas agrícolas é o fato de que, os consequentes impactos gerados não constituem externalidades ao processo produtivo, mas,

afetam a própria base de recursos naturais que os sustenta. Assim sendo, o rompimento dos serviços ecossistêmicos induzido pelas mudanças de uso das terras no meio rural, configura um dos principais obstáculos à sustentabilidade do agronegócio brasileiro. O impacto dessas transformações tem gerado conseqüências observáveis desde escalas locais até proporções globais, entre as quais as alterações nos regimes hidrológicos, a alteração no ciclo de carbono e as mudanças climáticas (MATSON *et al.*, 1997, citado por JOBBÁGY & JACKSON, 2004), podendo trazer sérias implicações para a sustentabilidade do setor agrícola. As mudanças de uso e cobertura da terra resultam de complexas interações entre sistemas naturais e sociais originando paisagens heterogêneas. Esta complexidade é evidenciada não apenas pelas interações dos fatores socioeconômicos e o suporte biofísico do meio como condicionante das mudanças da paisagem, mas também pelas relações entre os padrões espaciais de uso e cobertura da terra e as funções e serviços ecossistêmicos. Por sua vez, a pressão sobre a base de recursos naturais e as mudanças de estado associada às alterações nos serviços ecossistêmicos geram impactos tanto nos sistemas naturais como humanos, gerando, em um processo dinâmico de retro-alimentação, novas pressões de mudança de uso e cobertura da terra (VITOUSEK *et al.*, 1997).

Neste contexto, a agricultura assume destacada participação, dada a sua grande capacidade de promover sensíveis mudanças de uso e cobertura dos solos em larga escala geográfica, gerando complexos padrões espaciais na paisagem em um processo de longa duração associado aos sucessivos ciclos agro-econômicos. Particularmente, no meio rural, por força da pressão de uso do solo, os mosaicos relacionados às mudanças de uso e cobertura da terra emergem da complexa interdependência de processos biofísicos e fatores humanos, em uma dinâmica de ocupação da terra e apropriação de seus recursos naturais relacionada a processos históricos. Como visto, as alterações de uso da terra constituem um fenômeno espacial, transversal, e intrinsecamente correlacionado à maioria dos processos de deterioração ambiental e o conseqüente comprometimento dos serviços ecossistêmicos. Dentre estes, a regulação do ciclo hidrológico e a manutenção da sazonalidade climática figuram como serviços ambientais de essencial importância para a sustentabilidade das atividades de produção agropecuária, visto que regulam a disponibilidade da água, recurso vital e insumo primordial para a manutenção dos sistemas biológicos e viabilidade da produção agropecuária, respectivamente. A degradação do solo em larga escala representa outro problema de sérias conseqüências para a sustentabilidade do agronegócio, de maneira que a estabilidade dos processos erosivos nas bacias hidrográficas constitui um serviço ecossistêmico de grande relevância. Assim sendo, a caracterização da dinâmica, tendências e

previsão das mudanças de uso da terra assim como o monitoramento, estimativas e avaliação dos impactos ambientais decorrentes, nas dimensões socioeconômica e natural, constituem um vasto campo de investigação científica de destacada relevância, capaz de contribuir significativamente para a implementação de políticas públicas orientadas a promoção de modelos de desenvolvimento social e econômico, mais sustentáveis.

Com base nas atuais políticas nacionais do setor de agroenergia e o contexto geopolítico internacional, no que diz respeito às políticas e acordos de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais, pode-se conceber, considerando o fortalecimento das cadeias produtivas dos biocombustíveis em nosso país, um cenário futuro próximo com grandes alterações de uso das terras com expansão acentuada da cultura da cana-de-açúcar na região centro-oeste e a conseqüente pressão nos recursos naturais e impactos nos serviços ambientais. Atualmente, o Brasil apresenta uma área plantada de cana-de-açúcar da ordem de 9,6 milhões de hectares (IBGE, 2010).

Da área total, 1,3 milhões de hectares se encontram na região Norte-Nordeste e 8,3 na região Centro-Sul, sendo 5,3 milhões de hectares somente no estado de São Paulo (IBGE, 2010). Ou seja, o Centro-sul do Brasil concentra 86% da área plantada de cultura onde somente o Estado de São Paulo apresenta 55% de toda a área plantada do Brasil. Dados de Brasil, MAPA (2010), indicam que 40% desse total é destinado à produção de açúcar, 60% à produção de etanol. Esta concentração de plantio reflete-se, evidentemente, na concentração da produção de etanol e de açúcar, como ilustrado nos gráficos 1 (A) e (B), anteriormente apresentados. Outro fator que estabelece a importância do setor sucroalcooleiro no mercado brasileiro e indica seu potencial de impacto é que esse ocupa a terceira maior área plantada do Brasil, com 9,6 milhões de hectares na safra de 2009/2010 (IBGE, 2010). O gráfico 2, a seguir, apresenta a comparação entre as culturas soja, milho, cana-de-açúcar, feijão, arroz, trigo e as outras da safra de 1990 à de 2009 e entre as culturas soja, milho, cana-de-açúcar e as outras da safra de 1990 à de 2009.

A partir de dados do ano de 2006, Carvalho (2006) estudando a projeção de cenários do mercado futuro para o ano agrícola de 2012-2013 destaca a potencialidade do crescimento dos mercados, tanto externo quanto interno, para o etanol e açúcar brasileiros. O Brasil, no ano base de 2006, processando uma safra de 425 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, produziu em 310 usinas, aproximadamente, 30 milhões de toneladas de açúcar e 17 milhões de metros cúbicos de etanol. Para fazer frente a esse aumento de demanda serão necessários investimentos na ordem de 14,6 bilhões de dólares com a implantação, somente na região Centro-Sul, de 77 novas unidades de produção agroindustrial sucroalcooleira e a incorporação

de cerca de 2,2 milhões a mais nos 4,2 milhões de hectares ao setor produtivo atual, para que o Brasil possa produzir cerca de 685 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para a produção de etanol em torno de 35,7 milhões de metros cúbicos.

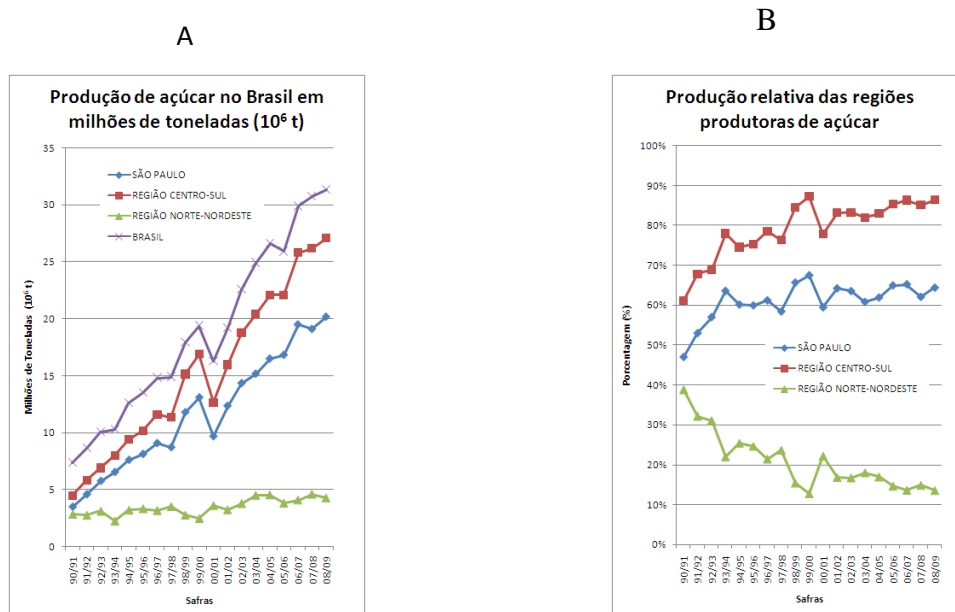


Figura 1 - Gráficos: Produção de açúcar (A) e produção relativa de açúcar (B) (t), nacional, centro-sul, norte-nordeste e SP (safras de 1990 e 2009). Fonte: INFOSUCRO (2008)

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), atualmente já existem 423 unidades produtoras de açúcar e etanol operando no país. No mesmo período, o aumento da área plantada foi de 10,3% sendo que na região centro-sul este aumento foi de 12,8%. A produção de cana-de-açúcar manteve taxas semelhantes às do aumento da área plantada, alcançando um crescimento nacional de 11,4%, sendo 12,8% na região centro-sul o que significa que a produtividade tem se mantido estável em torno de 82,5 Kg/ha em média para a região centro-sul. Com 30% da colheita mecanizada a safra 2009/2010, a região centro-sul foi responsável por 89,6 % da produção de cana-de-açúcar nacional.

Por outro lado, o Zoneamento da Cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009) realizado pela EMBRAPA, com participação de alguns pesquisadores do grupo ora proponente, indica que a região centro-sul possui ainda um grande potencial de expansão, em termos de aptidão pedoclimática e de disponibilidade de áreas pois, o referido zoneamento estabeleceu como critério as áreas de pastagens com declividade inferiores a 12%, como pode ser verificado nos mapas das figura 1, 2 e 3.

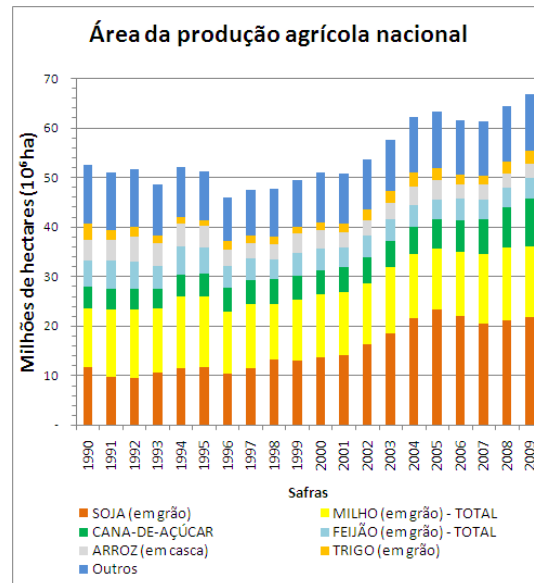


Figura 2 - Gráfico: Total acumulado das áreas destinadas à produção agrícola nacional; culturas soja, milho, cana, feijão, arroz, trigo; safras de 1990 e de 2009. Fonte: IBGE (2010).

A figura 1 apresenta um mapa de *hotspots*, onde a partir dos dados do CANASAT (INPE; Dados de 2007) a grande concentração de áreas da cultura da cana-de-açúcar (em vermelho) na região centro-sul, notadamente, no Estado de São Paulo, enquanto que o Zoneamento da cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009), demonstra a existência de vastas áreas aptas (preferências: verde escuro; regular: verde claro) para a expansão da cultura canavieira na região centro-sul.

Deste modo, os dados anteriormente apresentados indicam a nítida tendência de que a produção nacional de açúcar e etanol está em ascensão em função da demanda e das políticas de indução. Além disso, sinalizam que a produção ainda está muita concentrada da região centro-sul do país, mas que, como os ganhos por aumento de produtividade são diminutos, o aumento da área de produção é imperativo.

Observa-se ainda que as regiões tradicionais de produção de cana-de-açúcar do centro-sul do Brasil, sobretudo São Paulo, Sul do Estado de Goiás e Mato Grosso do Sul, norte do Paraná e extremo oeste de Minas Gerais, possuem os maiores quantitativos de áreas aptas para suportar a expansão da cultura canavieira conforme apontam os cenários tendenciais.

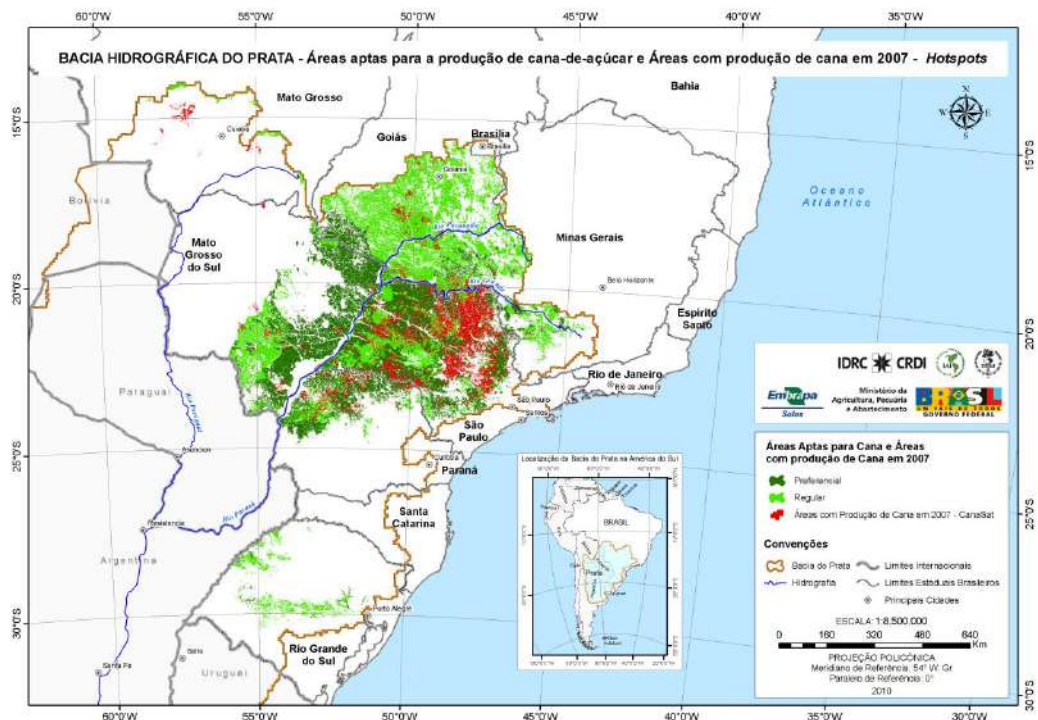


Figura 3 - Mapa: Áreas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar segundo o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009) e áreas ocupadas pela cultura da cana-de-açúcar (CANASAT-INPE ano base 2007). Fonte: MEIRELLES et al (2010).

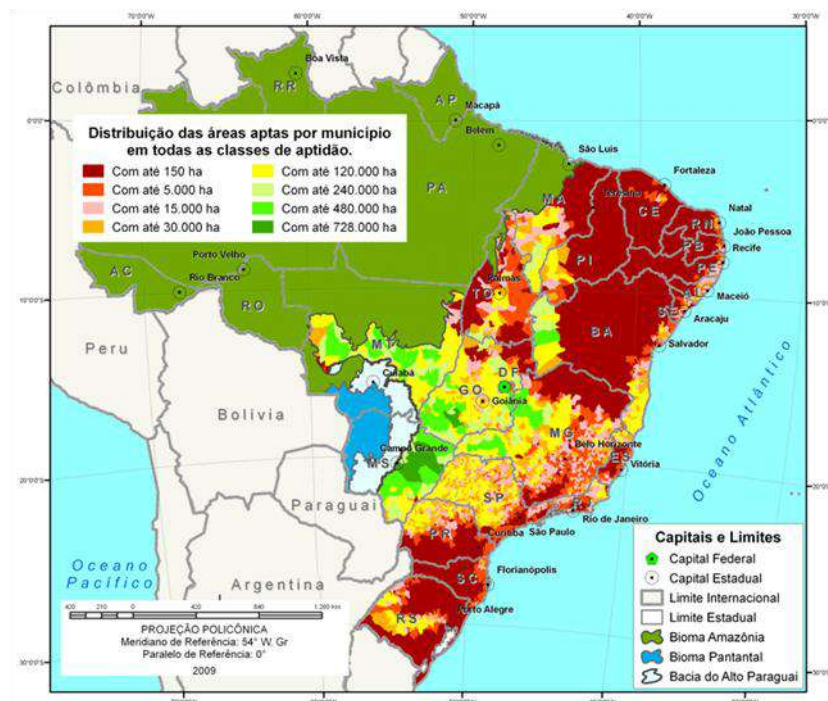


Figura 4 - Mapa: Distribuição das áreas aptas à expansão da cana-de-açúcar em total de hectares de áreas aptas por município. Fonte:Embrapa (2009).

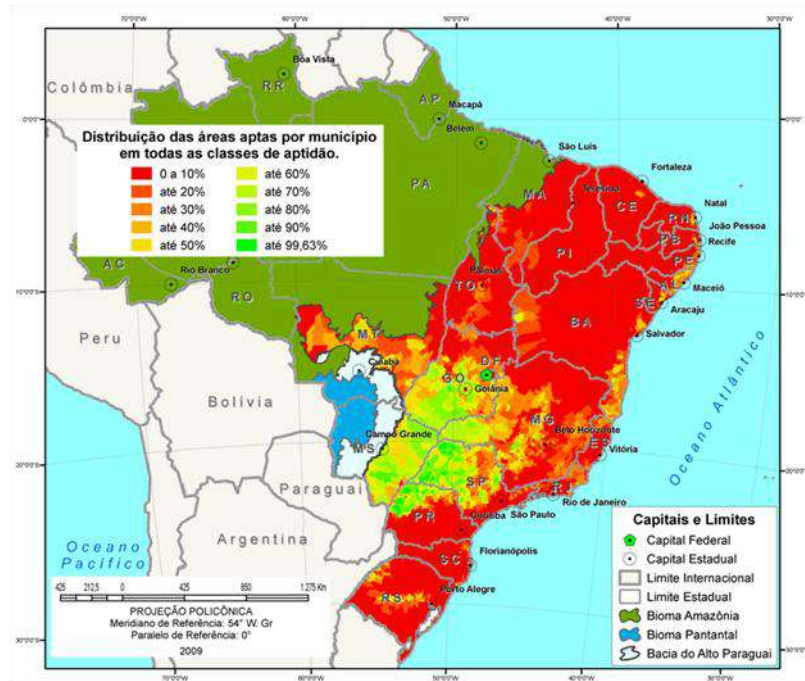


Figura 5 - Mapa: Distribuição das áreas aptas à cana-de-açúcar em % de áreas aptas por município. Fonte: Embrapa (2009).

Contudo, além do crescimento nas áreas já produtoras se verifica uma tendência de expansão da atividade sucroalcooleira para os estados do Mato Grosso do Sul e Goiás, devido ao menor custo da terra, incentivos fiscais e dependendo da situação uma menor competição com outras culturas. A expansão da cultura canavieira sobre a região centro-oeste representa, a princípio, uma alternativa técnica e economicamente viável, mas demanda um esforço de agregação de conhecimento sobre as reais condições de sustentabilidades e riscos associados aos impactos ambientais por conta da dinâmica de mudança de uso do solo em uma região de grande importância ambiental, social e econômica. A região centro-oeste do nosso país também conhecida como a região dos planaltos centrais do Brasil constitui a cabeceira de drenagens de grandes bacias hidrográficas como Araguaia-Tocantins; Paraguai; Paraná e São Francisco. Além de abrigar em maior parte o bioma de savana mais rico do mundo, com alto grau de endemismo (45%) e biodiversidade - o cerrado com aproximadamente 23% da superfície do país (2.045.064 km²) com diversos ecossistemas associados (IBGE, 1992). Além da relevância ecológica a região se notabiliza por conter importantes cidades e pólos de desenvolvimento agro-econômico, sendo responsável por 44 % da produção nacional de grãos.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

1.1 Definição do problema de pesquisa

A formulação do problema de pesquisa definido neste trabalho de Tese faz menção, em termos gerais, a concepção de estruturas lógicas e procedimentos metodológicos, embasados em modelos conceituais para a elaboração de sistema de indicadores ambientais, temáticos, focados em uma problemática ambiental explícita. Outras questões a esta se alinham, relacionadas seleção, proposição e avaliação de indicadores que sejam relevantes para o problema enunciado. A questão de como extrair informações sintetizadas de utilidade prática (indicadores), sem perder o suficiente rigor técnico-científico a partir de dados mult fontes de distintos modelos também constitui objeto de pesquisa metodológica. Por outro lado, a compreensão das implicações do tema/problema ambiental em exame e sua modelagem conceitual também constitui, por sua vez, um objeto particular de pesquisa.

1.2 Justificativa

Os dados produzidos pelo Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009) indicam que a região Centro-sul e, particularmente, a região Centro-Oeste possuem um grande potencial de expansão, em termos de disponibilidade de áreas e aptidão pedoclimática. Por sua vez os dados do Projeto CANASAT/INPE (RUDORFF et al., 2010), têm acompanhado a expansão da atividade canavieira que está se deslocando para o norte do território paulista e avançando sobre a região Centro-Oeste, notadamente, sobre áreas já antropizadas situadas nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.

Entretanto, a disponibilidade hídrica climática na área de domínio do bioma Cerrado apresenta limitações, uma vez que, o clima regional é caracterizado por duas estações bem definidas, uma chuvosa, que se inicia nos meses de setembro ou outubro e se estende até os meses de março ou abril e destes a setembro/outubro, outra estação, marcada pela seca com forte deficiência hídrica em função da redução acentuada dos índices pluviométricos (Silva et al.; 2008). Constituindo, deste modo, certo risco para o pleno desenvolvimento da cultura canavieira que, segundo Silva et al. (2008), torna a prática da irrigação suplementar ou de

salvamento obrigatória para se atingir produtividades satisfatórias, na maioria das áreas do bioma Cerrado.

Contudo, o Centro-Oeste brasileiro constitui uma região com potencial para a expansão da cultura da cana-de-açúcar. Entretanto, para a promoção do desenvolvimento sustentável da atividade canavieira nesta região, esforços orientados para o planejamento do uso dos recursos hídricos, da ocupação territorial, assim como, o monitoramento do processo de expansão da atividade em desenvolvimento, devem ser maximizados. Tornando-se importante, neste contexto, que os diversos atores públicos, econômicos possam contar com instrumentos de planejamento e gestão cada vez mais eficazes que forneçam os subsídios técnicos adequados para a tomada de decisões.

Considerando a necessidade do ordenamento territorial, do planejamento setorial agrícola e da gestão dos recursos hídricos e as informações técnicas das quais dependem os processos de tomada de decisões que envolvem estas esferas, todo e qualquer esforço para a proposição de metodologias de organização, sintetização e veiculação da informação que possam “traduzir” informações científicas, herméticas, em informações inteligíveis, de valor prático e gerencial, se tornam naturalmente justificados.

Por outro lado, as informações devem ser sistematizadas e conter um nível de agregação condizente com o nível de gestão desses processos de tomada de decisão, planejamento ou gestão dos problemas ambientais e ou setoriais. Desta forma, surgem os indicadores como um ferramental prático para a veiculação das informações essenciais, pertinentes a cada área temática do gerenciamento ambiental. Ademais, hoje em dia, contando com um aparato tecnológico e o suporte de metodologias robustas para o armazenamento, tratamento e análise de dados espaciais e alfanuméricos como, os Sistemas de Informação Geográfica, aliado às técnicas de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto, a implementação de Sistemas de Indicadores ambientais tornou-se mais fácil. Os Sistemas de Informação Geográfica e o emprego de técnicas de análise espacial (geoprocessamento) facilitam a espacialização dos dados, tornando possível a integração de dados de diversas fontes, o manejo de um grande número de variáveis, a redução da subjetividade e a integração de conhecimento especializado nos procedimentos de análise. Fundamentalmente, permitem a extração de dados de diversas fontes e modelos espacialmente distribuídos. Dados estes que podem ser aproveitados para a determinação de diversos indicadores ambientais e ou de sustentabilidade ambiental. Todas estas características tornam um sistema de geoprocessamento uma ferramenta especialmente útil para fins de planejamento (MEDEIROS e CÂMARA, 2002).

Assim, considerando a problemática ambiental ensejada pela evidenciada expansão da atividade canavieira sobre áreas do Cerrado Brasileiro contraposta aos recursos hídricos regionais, que apresentam naturalmente nítidas limitações relacionadas aos déficits hídricos sazonais, o risco de sobre-exploração das disponibilidades hídricas e o risco à contaminação dos mananciais hídricos se tornam eminentes, vislumbrando-se um cenário de futuro acirramento dos conflitos pelo uso da água na referida região. Por outro lado, considerando a necessidade do provimento de informações sintéticas de valor gerencial, adaptadas às circunstanciais da gestão pública setorial relacionada à agricultura e aos recursos hídricos - a proposição da concepção e elaboração de um Sistema de Indicadores voltado para a avaliação da sustentabilidade hídrica da atividade canavieira que possa, oportunamente, aproveitar os dados públicos disponíveis e se valer de tecnologias (SIGs) que permitam a manipulação de modelos diversos para a extração de dados se torna atraente e plenamente justificada.

1.3 Hipótese

Considerando o caso e a necessidade de se avaliar a sustentabilidade hídrica da neo-expansão da atividade canavieira, a hipótese levantada e sustentada por esta Tese se consubstancia na questão: *“É possível “traduzir” informações técnico-científicas, herméticas, em informações inteligíveis de valor prático e gerencial por meio de indicadores organizados em um sistema e determinados a partir de dados disponíveis em bases públicas ou extraídos de modelos temáticos espacializados por meio de procedimentos simplificados?”*

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste na proposição, desenvolvimento metodológico e elaboração de um Sistema de Indicadores orientado para a avaliação do

potencial de sustentabilidade hídrica e monitoramento da atividade canavieira em subsídio aos processos de planejamento e gestão territorial, ambiental ou setorial.

1.4.2 Objetivos específicos

Para a consecução do objetivo geral anteriormente explicitado, desdobram-se os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver e/ou adaptar uma abordagem metodológica, baseada na modelagem conceitual do problema de gestão ambiental suscitado pelo caso da expansão da atividade canavieira sobre o bioma Cerrado/ Região Centro-oeste do Brasil e a pressão potencial sobre os recursos hídricos, visando à concepção e a estruturação do Sistema de Indicadores (Funcionalidades; premissas e requisitos) e a orientação para a seleção e proposição de seus indicadores;
- Selecionar, propor, descrever e definir um conjunto de indicadores, integrados em módulos, para atender os pressupostos de dois níveis de gestão (Nível Estratégico e Nível Tático) especificamente orientados para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira;
- Selecionar, propor, descrever e definir um conjunto de indicadores, integrados em módulos, para atender os pressupostos de dois níveis de gestão (Nível Estratégico e Nível Tático) especificamente orientados para o monitoramento e avaliação do processo de expansão da cultura canavieira;
- Realizar um estudo de caso das quatro Microrregiões da Mesorregião Sul Goiano do Estado de Goiás: Sudoeste de Goiás; Vale do Rio dos Bois; Quirinópolis e Meia Ponte, consideradas como relevantes focos (hotspots) da expansão canavieira, para demonstrar a aplicabilidade do Sistema de Indicadores para a Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica e Monitoramento da Atividade Canavieira, orientado ao nível de gestão estratégica.
- Realizar um estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Verde, situada na Mesorregião Sul Goiano no Estado de Goiás, para demonstrar a aplicabilidade do Sistema de Indicadores para a Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica e Monitoramento da Atividade Canavieira, orientado ao nível de gestão tática;

1.5 Resultados esperados

Considerando o desenvolvimento deste trabalho de acordo com os objetivos, anteriormente explicitados, espera-se, a partir dos resultados atingidos, contribuir diretamente com:

A elaboração concepção e o estabelecimento de um sistema de indicadores especificamente orientado para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica e monitoramento da atividade canavieira, a partir de entradas simples com base no aproveitamento de dados e informações obtidas em agencias setoriais, programas ou documentos oficiais ou através de modelos simples de fácil implementação;

A proposição, descrição e definição de indicadores especificamente orientados para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica e monitoramento da atividade canavieira;

O desenvolvimento ou adaptação de procedimentos metodológicos para a concepção e estruturação de sistemas de indicadores de sustentabilidade ambiental, ordenamento territorial e/ou planejamento e gestão setorial;

A identificação das lacunas existentes em termos de ausência ou inadequação das metodologias e técnicas de medição ou estimativa de parâmetros necessários para a derivação de indicadores e índices de sustentabilidade hídrica. Orientando, desta forma, os esforços científicos para o desenvolvimento, adaptação e/ou aprimoramento de metodologias e técnicas de medição e de estimação de parâmetros e derivação de indicadores de sustentabilidade, restritos ao foco do sistema proposto;

A identificação das lacunas existentes em relação à ausência, insuficiência ou inadequação de dados brutos, tratados ou sistematizados, bem como, em relação às limitações relacionadas à densidade e distribuição espacial e temporal dos dados necessários para a derivação dos indicadores de sustentabilidade, restritos ao foco do sistema proposto;

Considerando a consecução do objetivo geral deste trabalho e a aplicação potencial e efetiva do sistema de indicadores proposto, espera-se, de uma forma indireta, contribuir com:

- O aproveitamento de dados e informações das agencias setoriais, programas ou documentos oficiais e fornecimento de subsídios técnicos em apoio aos processos de tomada de decisão e geração de políticas públicas setoriais, planejamento territorial e gestão dos recursos hídricos face à necessidade de promoção da expansão da atividade canavieira em bases sustentáveis;

- Contribuir com as metas governamentais no tocante ao desenvolvimento sustentável do setor alcooleiro no âmbito do Plano Nacional de Agroenergia, donde se destaca as seguintes diretrizes: (i) Otimizar o aproveitamento de áreas resultantes da ação humana sobre a vegetação natural (áreas antropizadas); (ii) maximizar a sustentabilidade dos sistemas produtivos; (iii) desestimular a expansão injustificada da fronteira agrícola e o avanço rumo a sistemas sensíveis ou protegidos; (iv) Desenvolver soluções que integrem a geração de agroenergia à eliminação de perigos sanitários ao agronegócio;
- Contribuir com as metas da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (Lei 9.433/1997) que proclama os princípios básicos do setor e estabelece os instrumentos de gestão e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, donde se destaca pela aderência às proposições deste trabalho: (i) Os Planos de Recursos Hídricos; (ii) A outorga de direitos de uso dos recursos hídricos; (iii) O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos;
- Contribuir com as metas da Agenda 21, expressas no capítulo 18 que trata da - “Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos, aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos”. Destacando-se os seguintes itens: (A) Desenvolvimento e gerenciamento integrado dos recursos hídricos: (i) Satisfazer as demandas hídricas, em contexto de desenvolvimento sustentável; (ii) Promover a gestão integrada dos recursos hídricos como parte integrante dos ecossistemas bem social e econômico, cuja quantidade e qualidade condicionam a sua utilização. (B) Avaliação dos recursos hídricos: (i) Avaliar e prognosticar a quantidade e qualidade dos recursos hídricos; (ii) estimar o volume desses recursos; (iii) estudar alternativas de abastecimento; (iv) determinar as condições de qualidade; (v) prever conflitos eventuais (vi) proporcionar base científica de dados para a sua utilização racional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a consecução deste trabalho de tese foi realizada uma extensa revisão bibliográfica que, devido ao caráter multidisciplinar do tema tratado, versou sobre diversos assuntos técnico-científicos. Desta forma, foram realizadas revisões bibliográficas sobre os seguintes temas: (i) Indicadores e sistemas de indicadores (ambientais, de sustentabilidade, hídricos, etc); (ii) Estruturas conceituais de referência; (iii) Planejamento e gestão ambiental; (iv) Cultura da cana-de-açúcar (ecofisiologia; requisitos agrônômicos, demanda hídrica, irrigação, etc); (v) Atividade sucroalcooleira (expansão territorial, impactos ambientais, demanda hídrica, etc); (vi) climatologia e agrometeorologia (balanço hídrico climático, modelos de risco climático); (vii) aptidão agrícola (edafoclimatologia, ZAE-cana); (viii) ciclo hidrológico (balanço hídrico hidrológico, disponibilidade hídrica, parâmetros hidrológicos e fluviométricos, modelagem e regionalização); (ix) Mudanças de uso da terra (tipologia, classificação e sensoriamento remoto); dentre diversos outros assuntos relacionados a este trabalho.

Contudo, para facilitar a apreensão optou-se por uma estrutura documental, na qual, a apresentação da fundamentação teórica foi realizada de modo específico e segmentado em cada item, na medida que os assuntos foram sendo tratados e se considerou importante embasá-los. No presente item, como tema central desta tese, foi apresentada uma revisão bibliográfica sumarizada sobre o tema “indicadores”.

2.1 Indicadores

2.1.1 Conceito, finalidade e aplicação dos indicadores.

No campo conceitual do “estudo dos indicadores” diferentes definições com noções parciais e, por vezes contraditórias, têm sido postuladas por diversos autores. Assim, o exame da literatura científica revela definições, as vezes, mais abrangentes e outras mais restritas, tanto do ponto de vista do conceito quanto da aplicação do que se considera ser um indicador.

Dentre as conceituações clássicas, frequentemente citadas, destaca-se a proferida pela OECD (1994), para a qual um indicador é definido como sendo um parâmetro ou valor deste

derivado que fornece uma informação ou descrição sobre um determinado fenômeno ou processo, incluindo um ambiente ou área, cujo significado excede ao imediatamente associado ao valor do parâmetro que o define. Por sua vez, parâmetro é definido como uma propriedade que pode ser observada e/ou medida por um método explicitado.

Ainda para a OECD (1994) os indicadores são desenvolvidos ou propostos para determinadas aplicações, logo têm como função a síntese de uma informação específica a respeito de um aspecto do fenômeno em apreciação. De modo semelhante à definição da OECD a Agencia Americana de Proteção ambiental (United States Environmental Protection Agency – USEPA, 1995) também conceitua um indicador ambiental como sendo um parâmetro ou valor derivado que fornece uma informação relevante sobre variáveis ambientais definidas que descrevem padrões ou tendências do estado de um dado ambiente incluindo as inter-relações com as atividades antrópicas.

Segnestam (2002) se refere aos indicadores como sendo a primeira e mais básica ferramenta para analisar as mudanças, ambientais funcionando como uma base de fornecimento de informações sobre as condições e as tendências do desenvolvimento servindo ainda para avaliar a sua sustentabilidade.

Conforme Banzhaf e Boyd (2004) os indicadores constituem entidades mensuráveis que servem de “proxies” para constructos abstratos, não mensuráveis diretamente, ou seja, são medidas indiretas de conceitos mais amplos que não podem ou são de difícil mensuração.

Para Magalhães Junior et al (2003) os indicadores não constituem informações explicativas ou descritivas, mas sim, informações pontuais que variam no tempo e espaço e servem para apontar evidências no acompanhamento da dinâmica da realidade. São informações quantitativas derivadas da mensuração de elementos ou fenômenos do real que, sendo interpretadas com base em um determinado padrão de referência comunicam com maior clareza o seu significado, facilitando assim a comunicação. Afirmam ainda que, um indicador exige uma unidade de medida definida e um padrão de referencia que permite a sua interpretação e comparação. Desta forma os autores postularam uma definição mais restrita porém mais precisa.

Em comum, as definições da OECD (1994) e USEPA (2005), anteriormente, apresentadas, nota-se que ambas as concepções se referem aos indicadores como sendo valores relativos à parâmetros ou destes derivados, que podem ser quantificados segundo determinado método, válidos para determinada aplicação. De fato, a idéia de medição ou quantificação para a maioria dos autores é implícita à noção de indicador. Para estes, um indicador, necessariamente, expressa um valor quantitativo. De acordo com esta assertiva,

Maranhão (2007) chega a afirmar que muitos autores empregam o termo “índice” como um sinônimo de “medida”, usada para avaliar o desempenho de uma determinada função, processo ou produto. Hammond et al. (1995), destacam que os indicadores são derivados de um conjunto de considerações que o relacionam à fenômenos mais complexos e que uma das principais características dos indicadores reside, exatamente, na sua capacidade de quantificar e simplificar a informação a estes relacionadas. Para os referidos autores os indicadores devem fornecer informação quantitativa, de modo simples e compreensível.

Por outro lado, Gallopin (1994); citado por Winograd (1995), define índice como sendo uma variável nominal, ordinal ou cardinal, qualitativa ou quantitativa, selecionada para transmitir alguma informação relevante a respeito de um atributo de um sistema qualquer. Postula assim um conceito de índice bem mais amplo, incluindo neste, também as informações de caráter qualitativo.

De qualquer forma, controvérsias conceituais a parte, como afirma Maranhão (2007) o importante a ser destacado no conceito de índice é a noção de objetividade, súbito entendimento e síntese da realidade em apreciação a qual o mesmo faz referência. Por isso, na conceituação do USEPA (1997), citado por Maranhão (2007), os indicadores são considerados como medidas que oferecem um “insight” sobre as condições, qualidades, inter-relações de um sistema complexo.

Maranhão (2007) apresenta um conceito próprio, através do qual, busca definir “índice” de uma forma bastante ampla, incluindo na sua conceituação aspectos da natureza da medida e da aplicação ou utilização prática dos indicadores, que aqui foi transcrita para não perder a força de comunicação do original:

Um índice pode, então, ser conceituado como uma ferramenta de avaliação referida a uma característica específica e observável, mensurável em escala quantitativa ou qualitativa, ou a uma mudança que pode ser avaliada em relação a um critério previamente selecionado, e que mostra a evolução de uma política ou de um ou mais programas implementados em relação a essa característica ou critério, ou o progresso relativo ao atingimento de um resultado determinado, habilitando os tomadores de decisão a avaliar a necessidade/oportunidade de uma intervenção corretiva e/ou estimar o progresso rumo aos resultados, metas e produtos perseguidos ou, ainda, os impactos de uma determinada ação. Ele pode ser uma função definida, mas seu significado extrapola os limites da função, traduzindo algo maior ou mais abrangente do que esta função. Um índice contém, dessa forma, uma informação cujo significado ultrapassa o seu sentido estrito e se projeta além desses limites, lançando luzes sobre um temático do qual é tido *como*

representativo, especialmente sobre a sua condição geral, permitindo uma avaliação diagnóstica desse tema.

Em relação à aplicação e finalidade dos Indicadores, OECD (1998) destaca que o objetivo fundamental dos indicadores é sintetizar a informação a partir da redução do número de parâmetros utilizados para representar uma situação, simplificando o processo de comunicação dos resultados fornecidos ao usuário.

A finalidade dos indicadores, de uma forma geral, está relacionada aos processos de tomada de decisão. Essa ligação entre indicador e tomada de decisão, entretanto, se manifesta de diversas maneiras. Basicamente, se justifica a utilização de indicadores nos processos de tomada de decisão porque estes possibilitam a transposição de um conhecimento científico de natureza física ou social para unidades de informação gerenciáveis auxiliando assim a visualização da problemática envolvida tornando mais claro os posicionamentos.

Segundo Maranhão (2007) as diferentes necessidades dos usuários orientam a finalidade e a aplicação dos indicadores. Este autor salienta ainda que o emprego de conjunto de indicadores em um dado planejamento é dependente dos objetivos das necessidades deste. Conduto. O autor destaca que quatro categorias principais de usos são predominantes: (i) medição de desempenho de políticas públicas, planos, programas e projetos (sempre que uma base de comparação for estabelecida com clareza como, por exemplo, metas); (ii) integração com interesses e preocupações externos a políticas setoriais; (iii) determinação do estado do meio ambiente ou dos recursos hídricos de uma dada região como uma bacia hidrográfica, um município, um estado ou um país; (iv) integração do processo decisório ambiental e econômico.

De acordo com Winograd (1995) no processo de tomada de decisão, a grande vantagem dos indicadores ou índices reside justamente na capacidade de sintetizar um grande volume de informação técnica. Subsidiando o gestor nos processos de definição de temas prioritários. Ainda auxiliam na identificação de problemas, ajudando a definir objetivos e metas de qualidade ambiental e as medidas necessárias a serem implementadas para alcançá-los. Além disso, se prestam para medir e divulgar informações sobre tendências, evolução e condições do ambiente e dos recursos naturais.

Um indicador é uma informação útil que permite avaliar, com base em algum parâmetro de medição, controle ou propriedade, aonde a situação se encontra e como está ocorrendo a sua evolução, servindo também para avaliar o desempenho de programas de ação interventores (Hart 1999). Para Cobb e Rixford (1998) os indicadores, independentemente da

sua conceituação, são sempre estabelecidos com a intenção de mudar o resultado de algum processo no mundo real. Por esta razão, Hart (1999) estabelece uma metáfora, comparando os indicadores a bússolas, que orientam quanto ao rumo que está sendo seguida em relação a um determinado problema e as ações visando a sua resolução.

Entre os muitos conceitos possíveis e, as dezenas de conceitualizações propostas por diversos autores, assim como, o vasto campo de aplicação e finalidades aos quais os indicadores se relacionam, o certo é que os indicadores podem ser entendidos como “sintetizadores de informação” e é esta propriedade que os tornam úteis para as tomadas de decisão e remete a idéia do nível de agregação da informação que cada indicador em particular deve propositadamente veicular.

A produção de informação para a tomada de decisão implica num processo de síntese e agregação da informação até resultar nos indicadores. Uma forma prática de visualizar os diferentes níveis de agregação e síntese da informação dos indicadores constitui a pirâmide proposta por Winograd (1995) na qual os índices ou indicadores são apresentados como o resultado desse processo de síntese.

A pirâmide é dividida em blocos ilustrando no sentido da base para o ápice os diferentes níveis desde a coleta do dado, tratamento e geração de informações com vários níveis de agregação até os indicadores que podem ser simples, agregados ou na forma de índices. O bloco da base reúne os dados, estatísticas e sistemas de informação, onde predominam atividades de organização e tratamento dos dados coletados e o bloco acima dos indicadores e índices, onde se concentram os processos de interpretação, que envolvem a elaboração de sistemas, proposição e determinação de indicadores e índices.

Cabe ressaltar que os indicadores simples são compostos por dados primários com diferentes níveis de análise que funcionam como indicadores, uma vez que, dependendo do caso apresentam a capacidade de sintetizar a informação e simplificar o processo de comunicação.

Os indicadores agregados correspondem a relações, razões e/ou funções entre variáveis derivadas de um conjunto de parâmetros ou dados simples, não envolvendo ponderações ou outras técnicas analíticas, como ocorre com os índices. Por sua vez, os índices representam o resultado da integração ou ponderação de vários indicadores.

A literatura distingue, para os índices diferentes conceitos: (i) conjunto de parâmetros ou indicadores agregados ou ponderados (OECD, 1994, 1998); (ii) resultado da combinação de várias variáveis ou parâmetros em um único valor, atribuindo um peso relativo a cada componente (Bakkes et al., 1994); (iii) agregação de estatísticas e/ou indicadores que resume

grande quantidade de informação relacionada e que utiliza algum processo sistemático para atribuir pesos relativos, escalas e agregação de variáveis em um resultado único (USEPA, 1995).

2.1.2 Estruturas conceituais de referência

As estruturas conceituais constituem modelos para a representação de uma dada realidade ou situação que exija, do ponto de vista prático, o balizamento e organização dos temas/problemas afeitos e que, portanto, necessitam de serem avaliados e/ou monitorados por medições, cujo significado pode ser veiculado por meio de indicadores pertinentes. As estruturas conceituais, portanto, facilitam a interpretação dos problemas, permitindo compreender como os diferentes temas se inter-relacionam e, o que é mais importante, ajudam a esclarecer quais são as questões-chave que devem ser respondidas pelos indicadores propositados. Desta forma, as estruturas conceituais são importantes para definir o espectro de temas a ser considerado, apresentando a informação de maneira organizada (ANZECC, 2000).

No campo específico dos indicadores ambientais usados em diversos setores de planejamento e gestão os sistemas de indicadores devem formar conjuntos integrados que obedecem a estruturas conceituais de referência, de forma a permitir o estabelecimento de relações contextuais que constituem a base para a seleção, proposição e o exame dos indicadores que serão aplicados no problema ambiental que se deseja intervir.

As diversas estruturas conceituais propostas na literatura técnica, substancialmente, diferem entre si na maneira pela qual abordam os temas, nos pressupostos de medição atribuídos aos indicadores e nos conceitos de classificação destes. Como salienta Maranhão (2007) as premissas utilizadas para justificar a seleção de indicadores, muitas vezes, não são explicitadas pelos seus autores, deixando o analista com dificuldade para compreender o que esta sendo proposto.

3 REFERENCIAIS TEÓRICOS

Para a maior compreensão dos pressupostos conceituais da proposta que este trabalho introduz, considera-se de importância basilar explicitar o referencial teórico-conceitual adotado a respeito dos principais temas tratados, apresentando, princípios e premissas, e, quando pertinente, as definições conceituais relacionados à terminologia relacionada.

Cabe salientar que não houve a intenção de promover uma discussão exaustiva a respeito de cada tema, se aprofundando nas controvérsias científicas e implicações epistemológicas, mas apenas, apresentar os fundamentos gerais e os referenciais teóricos que balizaram o presente trabalho. Deste modo, considerou-se importante apresentar os conceitos adotados para as seguintes expressões: (i) *Sustentabilidade Ambiental e Desenvolvimento sustentável*; (ii) *Sustentabilidade hídrica*; (iii) *Indicadores*; (iv) *Planejamento ambiental*.

3.1 Sustentabilidade ambiental e desenvolvimento sustentável

A realização do ideário do desenvolvimento sustentável acena para a solução dos problemas ensejados pelo embate entre o crescimento econômico e os limites ambientais, mas a ele se sobrepõem obstáculos de ordem prática, teórica e suas interrelações. O aspecto pragmático da questão expõe os verdadeiros abismos entre a prática e a teoria, revelando as reais limitações políticas, sociais, culturais, econômicas enfrentadas na prática para a consecução dos pressupostos teóricos. Por outro lado, mesmo tendo sido aceita a crítica geral às teorias econômicas “desenvolvencionistas” convencionais, no campo teórico, tanto nos meios acadêmicos quanto nos político-econômicos, ainda persistem diferentes interpretações e visões sobre o tema “*desenvolvimento sustentável*”, propiciando o surgimento de profundas ambiguidades e contradições (MARTINS, 2004).

O conceito de “*desenvolvimento sustentável*” como premissa básica para a edificação de uma “*nova ordem econômica mundial*” em contraposição ao modelo de desenvolvimento vigente no pós-guerra, cujos impactos socioeconômicos já se evidenciavam de forma marcante, torna-se mais evidente, sob os auspícios da ONU, a partir da tese do “*ecodesenvolvimento*” propalada na Conferência da UNCED em Estocolmo (Suécia) em 1972. Esse reconhecimento da ONU veio em resposta a veemente crítica ambientalista que já

se fazia notar no fim e início das décadas de 60 e 70, respectivamente, com diversos trabalhos que causaram grande repercussão: "*The Limits to Growth*" (1972) Relatório Meadows /Clube de Roma; "*The Economics of the Coming Spaceship Earth*" (1966) de Kenneth Boulding; "*On Economics as a Life Science*" (1968) de Herman Daly; "*The Entropy Law and the Economic Process*" (1971) de Nicholas Georgescu-Roegen; "*Environment, Power and Society*" (1971) de Howard Odum (MARTINS, 2004 e MONTIBELLER-FILHO 2001).

A formalização do termo “*desenvolvimento sustentável*” surge mais tarde no Relatório “*Nosso Futuro Comum*” (1987), conhecido como Relatório Brundtland, publicado por ocasião da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) da Organização das Nações Unidas (ONU) segundo o qual o “*desenvolvimento sustentável*” deve ser entendido pela eficiência econômica, equilíbrio ambiental e equidade social. Deste modo, a partir da retomada dos pressupostos do ecodesenvolvimento, o conceito de “*desenvolvimento sustentável*” ressurgiu com contornos mais nítidos com a incorporação de múltiplas dimensões: ecológica, econômica, social, cultural, tecnológica e política. À expressão, agregou-se também uma noção de preocupação com as gerações futuras, conforme explícito no Relatório Brundtland, donde se extrai a emblemática frase: “*Desenvolvimento Sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades*” (MARTINS, 2004).

Apesar da falta de clareza e consenso sobre o tema, com o acirramento da crítica ambientalista, a “*questão ambiental*” e o “*desenvolvimento sustentável*”, cada vez mais, ganham relevo e a temática passa gradativamente a constar das agendas políticas e econômicas internacionais. Enquanto isso, no meio acadêmico e científico, a crítica ambientalista sobre a insustentabilidade do modelo de desenvolvimento econômico vigente, originada a princípio do campo das ciências ambientais, físicas e biológicas, começa a convergir de encontro às ciências econômicas, propiciando profundas análises críticas a respeito do funcionamento do sistema econômico e de suas interações com os sistemas naturais e sociais (HAUWERMEIREN, 1998). Dessa convergência surge um campo de conhecimento próprio que veio, no final da década de 1980, a se consolidar como a Economia Ecológica. Notadamente, com a fundação da *International Society for Ecological Economics* (ISEE) e a criação da revista *Ecological Economics* (FERNANDEZ, 2011).

O presente trabalho se alinha ao arcabouço teórico-conceitual da Economia Ecológica, adotando alguns dos seus princípios e premissas (BOULDING, 1966; DALY, 1996; DALY, 1999; DALY e FARLEY, 2004; CONSTANZA, 1991; FERNANDEZ, 2011). Entretanto, não

houve neste trabalho a intenção de adotar um conceito fechado ou uma definição exata sobre o termo “*desenvolvimento sustentável*”, e sim, o que é mais relevante, explicitar algumas premissas teóricas que balizaram esta tese a respeito desta temática.

A corrente da Economia Ecológica reconhece a interdependência dos sistemas econômico, social e ambiental, defendendo proposições metodológicas de análise baseadas na integração desses sistemas, visto que, considera que a atual problemática ambiental e as perspectivas de desenvolvimento sustentável não podem ser devidamente compreendidas a partir das teorias econômicas e ecológicas convencionais (FERNANDEZ, 2011).

Cabe esclarecer, contudo, que a Economia Ecológica constitui um campo de pesquisa ainda bastante incipiente e plural. Abriga contribuições bastante heterogêneas, que ainda recorrem aos conceitos tanto da Ecologia quanto das abordagens da Econômica tradicional, porém, reconhece algumas premissas fundamentais (FERNANDEZ, 2011).

A primeira premissa diz respeito ao reconhecimento da importância fundamental dos princípios biofísicos para a compreensão das interações entre os sistemas ambientais e os econômicos, das limitações ambientais para o crescimento econômico indefinido e da perspectiva de desenvolvimento sustentável. Os princípios biofísicos mais importantes são postulados pela Lei da Conservação (Primeira Lei da Termodinâmica) e pela Lei da Entropia (Segunda Lei da Termodinâmica). Precursor da introdução das leis da termodinâmica no estudo da economia Georgescu-Roegen demonstrou que um sistema econômico não pode contrariar as leis da física, funcionando como um moto-perpétuo como se fosse um sistema fechado que cresce continuamente sem entrada e saída de matéria e energia (CECHIM e VEIGA, 2010). Como subsistema de um sistema ambiental natural mais amplo, o sistema econômico só funciona a partir do ingresso de uma dada quantidade de matéria e energia (fonte de energia, trabalho, insumos, etc) e saída de certa quantidade de matéria e energia na forma de produtos e resíduos que alteram a vizinhança e as condições iniciais do próprio sistema focalizado.

Isto posto, observa-se que as leis da termodinâmica impõem certa relatividade espacial e temporal para a perspectiva da “sustentabilidade ambiental”. Por um lado, o vocábulo “sustentável” remete, a princípio, à ideia de continuidade na linha do tempo de um determinado “estado” atingido por um dado sistema. Entretanto, a transitoriedade é inerente à própria definição de “estado”, logo existe uma evidente contradição e a “sustentabilidade” não pode ser entendida como a perpetuação de um estado estático de um sistema. Por outro lado, a definição de qualquer sistema natural inclui, necessariamente, a definição da sua abrangência com o estabelecimento das suas fronteiras, que se referem mais a limites conceituais do que

propriamente físicos, já que não existem sistemas perfeitamente isolados. Assim, ainda que os fenômenos objetivos, elementos e processos componentes de um sistema, possam fazer referência a uma dada localização no espaço, os fluxos de matéria e energia que perpassam o sistema se propagam indefinidamente, além dos limites físicos estabelecidos teoricamente, para a sua vizinhança

Em resumo, o conceito “sustentabilidade ambiental deve ser tomado com certa relatividade visto que, com base nas leis da termodinâmica, o isolamento espacial e a perpetuidade de um dado estado em um sistema qualquer constituem impossibilidades físicas. No entanto, relativamente, o conceito de “sustentabilidade ambiental” tem validade ao se pressupor a possibilidade de sistema econômico-ambiental atingir um estado de equilíbrio dinâmico, estacionário (steady-state), dado quando os fluxos de matéria e energia de entrada e de saída do sistema se equivalem. Essa condição, teoricamente, permitiria a um sistema se manter inalterado em um estado dinâmico, no qual, a sua organização interna seria tal que possibilitaria a entrada e a saída de matéria e energia de forma equivalente e contínua (ANDERSON, 1995). Do ponto de vista físico, o estado estacionário seria o que de mais próximo se teria da ideia de uma condição “sustentável”, na qual, certa quantidade de matéria e energia (energia e insumos) ingressaria no sistema, saindo a mesma quantidade na forma de produtos na perspectiva de um sistema econômico-ambiental. Deve-se observar, no entanto, que este estado é de difícil estabelecimento e, mesmo que alcançado, conforme a segunda Lei da Termodinâmica, para se manter o nível de organização interna do sistema em estado estacionário (estado de máxima entalpia) a entropia da sua vizinhança tenderia sempre a aumentar (ANDERSON, 1995). Em outras palavras, a desorganização ou os impactos nos sistemas subsequentes seriam inevitáveis.

Apesar do impasse, a maioria dos autores da Economia Ecológica assume uma postura mais cautelosa quanto a esta questão, evitando prenunciar que os limites ecológicos são absolutos e intransponíveis. Segundo Fernandez (2011), a maioria dos autores da corrente de pensamento da Economia Ecológica não compartilha do “ceticismo alarmista” adotado por aqueles que defendem o “crescimento zero”, tampouco, assume o “otimismo tecnológico” adotado pela corrente hegemônica, segundo o qual as restrições ambientais são vistas como um problema menor, que sempre pode ser superado pelo avanço tecnológico.

A Economia Ecológica considera que, por causa das limitações impostas pelos princípios biofísicos, o crescimento econômico encontra-se realmente limitado pelo meio ambiente. Não apenas pelos limites ocasionados pela exaustão das fontes de recursos naturais não renováveis, mas, principalmente pela limitação da capacidade de produção de recursos

naturais renováveis e pela capacidade de carga dada por limiares de resiliência ecossistêmica que determinam a quantidade máxima de matéria residual e energia capaz de ser assimilada e dissipada, respectivamente pelo meio ambiente (DALY, 1999). Por outro lado, a Economia Ecológica também reconhece que o progresso tecnológico pode promover, circunstancialmente, efetiva superação de certos limites ambientais. Quer seja, através do aumento da eficiência no uso dos recursos naturais, quer seja, pela substituição de recursos naturais exauríveis por outras fontes de recursos renováveis. Seus adeptos, defendem o manejo prudente dos recursos não renováveis e a utilização dos recursos renováveis a uma taxa que não exceda o ritmo natural de regeneração ambiental ou a capacidade de manutenção dos processos ecossistêmicos (CONSTANZA, 1991).

A segunda premissa diz respeito à noção da “multidimensionalidade” da “sustentabilidade ambiental”. Introduzido por Sachs (1981) e seguido por inúmeros autores, o conceito de “sustentabilidade ambiental” e, por conseguinte, o de “desenvolvimento sustentável” integra diferentes dimensões, que constituem diferentes perspectivas de análise do sistema ambiental que integra aspectos socioeconômicos, ecológicos, etc. Assim, todas as dimensões de forma integrada devem ser contempladas para que o processo de desenvolvimento possa ser considerado realmente sustentável. Deste modo, em termos relativos, é possível se distinguir diferentes dimensões da “sustentabilidade”, a econômica, a ecológica, a social a cultural, a política, dentre outras. Porém, deve-se ter claro que constituem distintas perspectivas sobre o mesmo problema - impactos do desenvolvimento humano sobre o meio-ambiente. A noção da multidimensionalidade da “sustentabilidade ambiental”, evidentemente, contrapõe-se ao paradigma preponderante que reduz a noção de desenvolvimento à ideia exclusiva de crescimento econômico, caracterizado exclusivamente pelo aumento dos índices de rendimento dos fatores de produção: recursos naturais, capital e trabalho. Ideário este que supervaloriza o progresso econômico, considerando-o imprescindível e desejável mesmo quando não se contempla outras perspectivas que propiciem o efetivo desenvolvimento sociocultural da humanidade com prudência ambiental (MARTINS, 2004).

A terceira premissa diz respeito à noção de “desenvolvimento” como uma evolução qualitativa das sociedades humanas. Desta forma, a noção de “desenvolvimento” assume não apenas um caráter quantitativo, reducionista, restringindo-se apenas à ideia de crescimento econômico, mas também, integra a dimensão qualitativa do processo de desenvolvimento. Entendida como etapas sucessivas de transformação de estados constituindo um ciclo de evolução de um dado sistema. Para tornar claro este argumento, por exemplo, em biologia,

“desenvolvimento” significa as transformações anatômicas e fisiológicas que uma dada espécie sofre para desempenhar diversas funcionalidades, cumprindo assim o seu ciclo de vida. Da botânica, tem-se o exemplo do ciclo fenológico de uma planta qualquer, no qual se distinguem as fases de germinação, crescimento vegetativo, florescimento, frutificação, senescência, etc (MARTINS, 2004). Não há, portanto, apenas crescimento em sentido estrito de aumento de massa e volume, mas também, uma evolução de estados funcionais.

Integra-se assim uma noção de valor qualitativo para o processo de desenvolvimento socioeconômico. Assim, como exemplo, a questão não passa somente pela geração de renda e aumento da eficiência e rentabilidade dos sistemas produtivos, mas também, pela inclusão econômico-produtiva e distribuição mais equitativa da riqueza. Passa pela indução de novos padrões de consumo harmônicos com a natureza e pela inclusão social e acesso aos direitos sociais básicos, como segurança, saúde e educação. E ainda, pela manutenção dos serviços ambientais e mitigação dos impactos da produção e do consumo sobre o meio ambiente. Pela democratização e estabilidade política e institucional. Dentre inúmeras outras questões ensejadas pela complexa temática em análise.

Sobre novas bases, de forma simplificada, pode-se dizer que o “desenvolvimento sustentável” passa a consistir numa situação de melhora na qualidade de vida de toda a sociedade, presente e futura, com um nível de uso dos recursos naturais que não exceda a capacidade regenerativa dos ecossistemas e nem a capacidade assimiladora dos rejeitos do ambiente natural (FERNANDEZ, 2011).

Considerando a perspectiva de análise das suas múltiplas dimensões as expressões “sustentabilidade ambiental” e “desenvolvimento sustentável” e seus corolários, no presente trabalho, são tomadas em sentido relativo, considerando a relatividade espaço-temporal dos sistemas econômico-ambientais, mas, também a possibilidade, pelo menos teórica, de se atingir um estado de estabilidade dinâmica Daly e Farley (2004) que possa, num dado período histórico, garantir certo nível de crescimento econômico em conjunto com a evolução qualitativa das sociedades humanas.

3.2 Sustentabilidade hídrica

Como o foco do atual trabalho é específico sobre um dado problema ambiental, ou seja, o problema da disponibilidade hídrica ante as mudanças de uso da terra por conta da

expansão territorial de uma determinada atividade agroeconômica, se faz pertinente esclarecer a acepção do termo “sustentabilidade” utilizado neste contexto, cuja noção se restringe às dimensões ecológica/ambiental e econômica.

A “água”, como substância essencial para a manutenção dos ecossistemas e insumo imprescindível para todas as atividades produtivas, se reveste de importância fundamental, constituindo, dependendo da perspectiva, em um elemento ecológico ou um fator econômico (recurso natural/insumo). Portanto, a análise da sustentabilidade, em sentido específico relacionada à disponibilidade água, integra principalmente as dimensões econômica e ecológica/ambiental. No presente trabalho, para maior clareza a respeito da acepção usada, lançou-se mão da adjetivação do substantivo, utilizando-se a expressão “*sustentabilidade hídrica*”. Expressão essa, usada em sentido restrito, na dimensão econômica como um fator de produção, insumo para a produção agrícola e seu processamento industrial. Na dimensão ecológica, como o elemento primordial do sistema hidrológico, dotado de massa e energia, cuja disponibilidade varia no tempo e espaço, sendo afetada pelos sistemas de produção agrícola e pela mudança de uso da terra.

No caso ora empregado, a “*sustentabilidade hídrica*” pelo ângulo econômico é compreendida como a capacidade de suporte do meio ambiente em fornecer o recurso natural “água” para a manutenção da atividade agroindustrial sucroalcooleira. Ou seja, a capacidade do sistema hidrológico de produzir volumes hídricos, em quantidade e qualidade adequadas (disponibilidade hídrica) para atender a demanda de água para a manutenção ou expansão da atividade agroindustrial canavieira. Neste enfoque parcial, a água é considerada um fator de produção, figurando como insumo para a irrigação da cultura e o processamento industrial da produção de cana-de-açúcar. Do ponto de vista, ambiental a “*sustentabilidade hídrica*” é compreendida como um dado estado de estabilidade dinâmica, observado pela estacionariedade das séries históricas de dados hidrológicos, que mantem as condições de produção de água de uma bacia hidrográfica dentro de uma variação sazonal aceita pela distribuição de frequência das séries hidrológicas. Ou seja, as alterações do balanço hídrico em uma dada bacia, por conta das mudanças de uso do solo e dos volumes hídricos extraídos para a manutenção da referida atividade agroindustrial, não podem exceder um dado limite a ponto de quebrar a estacionariedade do ciclo hidrológico, comprometendo a oferta hídrica para a própria atividade sucroalcooleira e demais usos concorrentes, incluindo a vazão ecológica mínima remanescente.

3.3 Indicadores

Na literatura especializada, inúmeros são os autores que discutiram o conceito de “indicador” e que apresentaram definições conceituais particulares a respeito de indicadores gerais ou específicos para a aplicação de um determinado campo de conhecimento (HART (1999); BANZHAF e BOYD (2004) BAKKES et al. (1994); OECD, 1994). Contudo, neste documento foi adotado o conceito apresentado pela Organisation for Economic Cooperation and Development - OECD (1994), que define um indicador como sendo um parâmetro ou valor derivado de parâmetros que aponta, fornece informações ou descreve o estado de um fenômeno, ambiente ou área, e cujo significado excede aquele diretamente associado ao valor do parâmetro. Em complemento à definição anteriormente anunciada considerou-se também a definição posta por Maranhão (2007) pela qual um indicador é definido como grandezas qualitativas ou quantitativas, mensuráveis por métodos diretos, indiretos ou por simples estimativas que quantificam ou caracterizam uma dada condição de um sistema. Este autor enfatiza ainda que, de forma geral, o propósito de um indicador é subsidiar os processos de tomada de decisão gerencial para fins de um planejamento qualquer (ambiental e/ou setorial), pois, possibilita a transferência de conhecimento objetivo, científico, em índices com valor gerencial.

A opção por estas conceituações, em detrimento de outras, não se deve a qualquer julgamento de maior correção ou exatidão dos conceitos apresentados, mas sim, pela maior adequação com a proposta do sistema de indicadores tratado nesta tese. Neste documento, o termo indicador é tomado em sentido lato como sendo qualquer valor quantitativo que pode ser uma medida com unidades físicas conhecidas, um parâmetro estatístico, ou um índice adimensional que aponte para uma determinada realidade ambiental a partir de uma perspectiva analítica, em caráter diagnóstico ou prognóstico, apoiando os processos de tomada de decisão nos planejamentos, gestão ou monitoramento ambiental.

3.4 Planejamento ambiental

No Brasil, existem diferentes modalidades de planejamento ambiental, como os zoneamentos ambientais, os planos de bacias hidrográficas, os planos diretores ambientais, os planos de manejo e as avaliações de impactos ambientais, dentre outras.

As modalidades, zoneamento ambiental e a avaliação de impactos ambientais, constituem instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente disposta na Lei Federal 6.938, de 31 de agosto de 1981.

Os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e os Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA) constituem instrumentos para a avaliação de impacto ambiental através de metodologias definidas para analisar sistematicamente as consequências de atividades potencialmente modificadoras do meio ambiente, como a implantação de projetos industriais, de infraestrutura, mineração, etc.

Com a finalidade de delimitar geograficamente zonas ambientais e/ou territoriais com o objetivo de estabelecer regimes especiais de uso, os zoneamentos ambientais podem constituir um resultado de um determinado planejamento ou servir como subsidio aos processos de planejamento, de ordenamento do uso do solo e da ocupação territorial, além da utilização racionalizada dos recursos naturais. Dentre os diversos tipos temáticos de zoneamento ambiental, pode-se citar aqueles que possuem amparo legal, tais como: (i) zoneamento ecológico-econômico regido pelo Decreto Federal 4.297, de 10 de julho de 2002, (ii) Zoneamentos agrícolas de risco climático e zoneamentos agroecológicos (legislação específica); (iii) unidades de conservação (Lei 9.985 de 18 de julho de 2000); (iv) gerenciamento costeiro (Lei 7.661 de 16 de maio de 1988). Um caso particular de interesse imediato deste trabalho constitui o Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar estabelecido pelo Decreto: Nº 6961 de 17 de Setembro de 2009 que estabelece as condições, critérios e vedações para a concessão de crédito rural e agroindustrial à produção e industrialização de cana-de-açúcar, açúcar e biocombustíveis (SANTOS, 1995 e PIVELLO, 1998 *apud* FIDALGO 2003).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997, define a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos tendo como instrumentos o Plano de Bacia Hidrográfica. Os Planos de Bacias Hidrográficas constituem uma modalidade de planejamento ambiental cujo objetivo consiste no diagnóstico de uma determinada bacia hidrográfica e no estabelecimento de diretrizes para a utilização integrada dos recursos hídricos, visando o desenvolvimento sustentável da referida bacia.

Muito utilizados, ultimamente, na jurisdição municipal e, por vezes, também no âmbito estadual, os Planos Diretores por meio do diagnóstico do meio físico-biológico, das condições sociais, territoriais e econômicas, objetivam definir diretrizes estratégicas e ações operacionais para motivar o desenvolvimento socioeconômico sustentável. Os planos de manejo, por sua vez, visam disciplinar a ocupação e a utilização dos recursos naturais de áreas específicas, como as unidades de conservação que, segundo a Lei Federal 9.985 de 18 de julho de 2000, tornam-se obrigatórios (Santos, 1995 e Pivello, 1998 apud Fidalgo 2003).

No presente documento os termos “planejamento ambiental” e/ou “gestão ambiental” são usados em termos gerais para designar todo e qualquer processo organização de planejamento de ações para atingir a fins específicos ou gerais de caráter ambiental.

Os resultados desta tese, considerando a proposição de procedimentos metodológicos para a avaliação da sustentabilidade hídrica e do processo de expansão da atividade canavieira, podem contribuir para diversas modalidades de planejamento ambiental, mas especificamente, aquelas relacionadas à gestão dos recursos hídricos, ao ordenamento territorial ou planejamento agrícola.

A despeito dos diferentes postulados em relação à conceitualização ou à distinção de etapas que compõem um planejamento ambiental, neste documento, tomou-se como base, pelo seu caráter objetivo, a proposição de Conyers e Hills (1984), na qual os autores estabelecem distintas etapas do processo de planejamento ambiental. Para esses autores, a partir da decisão de se adotar um plano para resolver um problema explícito, surge o conceito de planejamento que compreende um processo cíclico e contínuo de tomada de decisão, que envolve uma série de estágios interligados e sequencialmente ordenados. Conyers e Hills (1984), em termos gerais, distinguem as seguintes etapas para a consecução de um planejamento ambiental:

- ***Estabelecimento do esquema organizacional:*** corresponde ao estabelecimento de um organograma, assim como, à mobilização dos meios físicos, recursos financeiros e humanos para a consecução adequada do planejamento pretendido;
- ***Estabelecimento das metas e formulação dos objetivos:*** as metas e objetivos correspondem às prioridades do planejamento e sua formulação definirá o escopo e os propósitos do planejamento. Enquanto as metas são mais gerais e se relacionam com a finalidade do planejamento a ser alcançada em um prazo determinado, os objetivos são mais precisos e representam passos específicos para a consecução das metas estabelecidas. Considerando o planejamento como um processo dinâmico, as metas e

objetivos devem ser reformulados sempre que vislumbrado desvios ou novas alternativas;

- ***Avaliação ambiental:*** corresponde as atividades de coleta, organização e análise de dados a partir da definição dos objetivos, da abrangência geográfica e escala de trabalho que, por sua vez, definem os temas e os tipos de dados necessários ou mais apropriados. A avaliação ambiental pode ter um caráter diagnóstico quando busca representar o estado atual do sistema em análise ou um caráter prognóstico quando faz uso de indicadores ou modelos que apontam para cenários tendenciais ou prováveis a partir de alterações hipotéticas nos elementos ou processos do sistema. O uso de indicadores também podem compor os procedimentos metodológicos desta etapa;
- ***Identificação, análise e seleção de alternativas:*** Esta etapa trata da identificação, análise e seleção de alternativas que correspondem às possíveis ações a serem implementadas para resolver os problemas identificados na etapa de avaliação ambiental com vistas a consecução das metas e objetivos estabelecidos. Avaliações temporais, identificação de diferentes cenários, formulação das alternativas, cotejo das vantagens e desvantagens de cada alternativa, hierarquização das alternativas com base num conjunto de critérios e seleção da alternativa mais adequada, constituem possíveis etapas metodológicas que podem ser empregadas nesta fase;
- ***Implementação das ações preestabelecidas:*** Esta etapa corresponde às ações operacionais, passo-a-passo, para realizar os objetivos descritos no plano. Cabe esclarecer que muitos autores não consideram que esta etapa seja propriamente uma fase de planejamento, e sim, uma fase relativa à operacionalização/gestão do planejamento. Porém, considerando o caráter cíclico do processo e que as etapas de planejamento e gestão são processos interdependentes, essa distinção, no presente contexto, é irrelevante;
- ***Monitoramento e avaliação:*** Corresponde ao processo de acompanhamento e avaliação da etapa de implementação das ações planejadas. Constitui um processo de importância crucial relacionado mais adequadamente a gestão da execução do planejamento. O monitoramento relaciona-se com a tomada de dados ou indicadores enquanto a avaliação tem como objetivo apontar se as ações planejadas foram executadas, se os objetivos foram atingidos e se os resultados estão satisfatórios.

4 MARCOS REGULATÓRIOS

Este item apresenta os principais marcos legais, programas e planos de governo instituídos para o estabelecimento de diretrizes políticas relacionadas ao desenvolvimento sustentável e, mais especificamente, ao uso dos recursos hídricos, ao setor de agroenergia e planejamento da atividade canavieira que balizaram e justificaram os propósitos do presente trabalho. Outrossim, de forma direta ou indireta, os procedimentos metodológicos e resultados atingidos nesta obra contribuem, em certa medida, com as metas e diretrizes estabelecidas nos diversos documentos legais. Sendo assim, apresenta-se a seguir: (i) Marcos Regulatórios Legais relacionados aos Recursos Hídricos; e, (ii) Marcos Regulatórios Legais relacionados à cultura da cana-de-açúcar e ao setor de agroenergia

4.1 Marcos regulatórios legais relacionados aos recursos hídricos

4.1.1 Agenda 21

Agenda 21 Global foi construída de forma consensuada, com a contribuição de governos e instituições da sociedade civil de 179 países, em um processo que durou dois anos e culminou com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), no Rio de Janeiro, em 1992, da qual pelo interesse imediato, destaca-se o Capítulo 18: Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos, cujos objetivos e áreas programáticas são descritas a seguir (UNCED, 1992):

- **Objetivo Geral:** A água é necessária em todos os aspectos da vida. O objetivo geral é assegurar que se mantenha uma oferta adequada de água de boa qualidade para toda a população do planeta, ao mesmo tempo em que se preserve as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas, adaptando as atividades humanas aos limites da capacidade da natureza e combatendo vetores de moléstias relacionadas com a água. Tecnologias inovadoras, inclusive o aperfeiçoamento de tecnologias nativas, são

necessárias para aproveitar plenamente os recursos hídricos limitados e protegê-los da poluição;

- **Áreas de programas para o setor de água doce:** (i) Desenvolvimento e manejo integrado dos recursos hídricos; (ii) Avaliação dos recursos hídricos; (iii) Proteção dos recursos hídricos, da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos; (iv) Abastecimento de água potável e saneamento; (v) Água e desenvolvimento urbano sustentável; (vi) Água para produção sustentável de alimentos e desenvolvimento rural sustentável; (vii) Impactos da mudança do clima sobre os recursos hídricos.

4.1.2 Leis Nacionais de Recursos Hídricos

A LEI 9.433/1997 constitui a base legal que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (MMA, 2006), cujo foco, princípios básicos e instrumentos são descritos a seguir:

- **Os focos da Lei:** (i) Proclamar os princípios básicos do setor; (ii) Estabelecer os instrumentos de gestão; (iii) Criar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- **Princípios Básicos:** (i) A bacia hidrográfica é a unidade de planejamento; (ii) A água é um bem de domínio público; (iii) A água é um recurso natural limitado; (iv) A água é um recurso dotado de valor econômico; (v) Uso prioritário para consumo humano e dessedentação de animais, em casos de escassez; (vi) A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada, dela participando o Poder Público, os usuários e as comunidades; (vii) A gestão deve sempre proporcionar o uso múltiplo.
- **Instrumentos:** (i) Os Planos de Recursos Hídricos; (ii) O enquadramento dos corpos de águas em classes de usos preponderantes; (iii) A outorga de direitos de uso dos recursos hídricos; (iv) A cobrança pelo uso dos recursos hídricos; (v) O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

4.1.3 Legislação complementar sobre os recursos hídricos

As as principais leis e resoluções legais que complementam a Política Nacional de Recursos Hídricos são, a seguir, apresentadas:

- **LEI 9.984/00** - Implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos – Criação da Agência Nacional de Águas
- **Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA:** Resolução 357 do CONAMA de 2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências (BRASIL, 2005);
- **Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA:** Resolução 369 do CONAMA de 2008 - Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências (BRASIL, 2008).
- **Leis Estaduais de Recursos Hídricos – Regulamentações:** A titularidade das águas subterrâneas é Estadual, sendo competência privativa dos Estados a outorga do direito de uso desse recurso.

4.2 Marcos regulatórios legais e programáticos relacionados à atividade canavieira

4.2.1 Plano Nacional de Agroenergia

O Plano Nacional de Agroenergia (BRASIL/MAPA, 2006) apresenta os seguintes objetivos:

- **Objetivo Geral:** Estabelecer marco e rumo para as ações públicas e privadas de geração de conhecimento e de tecnologias que contribuam para a produção sustentável da agricultura de energia e para o uso racional dessa energia renovável. Tem por meta tornar competitivo o agronegócio brasileiro e dar suporte a determinadas políticas públicas, como a inclusão social, a regionalização do desenvolvimento e a sustentabilidade ambiental.
- **Objetivos Específicos:** (i) Assegurar o aumento da participação de energias renováveis no Balanço Energético Nacional (BEN); (ii) Garantir a interiorização e a

regionalização do desenvolvimento, baseados na expansão da agricultura de energia e na agregação de valor nas cadeias produtivas a ela ligadas; *(iii)* Criar oportunidades de expansão de emprego e de geração de renda no âmbito do agronegócio, com mais participação dos pequenos produtores; *(iv)* Contribuir para o cumprimento do compromisso brasileiro no Protocolo de Quioto e possibilitar o aproveitamento das oportunidades que o acordo favorece para a captação de recursos de crédito de carbono; *(v)* Induzir a criação do mercado internacional de biocombustíveis, garantindo a liderança setorial do Brasil; *(vi)* Otimizar o aproveitamento de áreas resultantes da ação humana sobre a vegetação natural (áreas antropizadas), maximizando a sustentabilidade dos sistemas produtivos, desestimulando a expansão injustificada da fronteira agrícola e o avanço rumo a sistemas sensíveis ou protegidos; *(vii)* Desenvolver soluções que integrem a geração de agroenergia à eliminação de perigos sanitários ao agronegócio;

- ***Objetivos Específicos para o Setor de Etanol:*** *(i)* Eliminar fatores restritivos à expressão do potencial produtivo da cultura da cana-de-açúcar, incrementando a produtividade de cana, o teor de sacarose, o agregado energético e o rendimento industrial da cana-de-açúcar; *(ii)* Desenvolver tecnologias poupadoras de insumos e de eliminação ou mitigação de impacto ambiental, incluindo tecnologias de manejo da cultura e de integração de sistemas produtivos; *(iii)* Desenvolver alternativas de aproveitamento integral da energia da planta de cana-de-açúcar, com melhoria dos processos atuais ou desenvolvimento de novos processos; *(iv)* Desenvolver novos produtos e processos, baseados na alcoolquímica e no aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar;

4.2.2 Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar no Brasil - ZAE-Cana.

O Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar no Brasil - ZAE-Cana tornou um instrumento legal por meio do Decreto: Nº 6961 de 17 de Setembro de 2009 e seus artigos (PR/Casa Civil, 2010): *(i)* Art. 1º Fica aprovado o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil, a partir da safra 2009/2010, conforme Anexo; *(ii)* Art. 2º As revisões posteriores do zoneamento de que trata o art. 1º, inclusive com a atualização da base de dados, ficam a cargo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; *(iii)* Art. 3º O

Conselho Monetário Nacional estabelecerá as condições, critérios e vedações para a concessão de crédito rural e agroindustrial à produção e industrialização de cana-de-açúcar, açúcar e biocombustíveis. Os objetivos e diretrizes são a seguir apresentados:

- **Objetivo Geral:** O objetivo geral do ZAE Cana para a produção de etanol e açúcar é o de fornecer subsídios técnicos para formulação de políticas públicas visando ao ordenamento da expansão e a produção sustentável de cana-de-açúcar no território brasileiro;
- **Objetivos Específicos:** (i) Oferecer alternativas econômicas sustentáveis aos produtores rurais; (ii) Disponibilizar base de dados espaciais para o planejamento do cultivo sustentável das terras com cana-de-açúcar em harmonia com a biodiversidade e a legislação vigente; (iii) Fornecer subsídios para o planejamento de futuros pólos de desenvolvimento no espaço rural; (iv) Alinhar o estudo com as políticas governamentais sobre energia; (v) Indicar e espacializar áreas aptas à expansão do cultivo de cana-de-açúcar em regime de sequeiro (sem irrigação plena); (vi) Fornecer as bases técnicas para a implementação e controle das políticas públicas associadas;
- **Diretrizes Gerais do Estudo:** (i) Indicação de áreas com potencial agrícola para o cultivo da cana-de-açúcar sem restrições ambientais; (ii) Exclusão de áreas com vegetação original e indicação de áreas atualmente sob uso antrópico; (iii) Exclusão de áreas para cultivo nos biomas Amazônia, Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai; (iv) Diminuição da competição direta com áreas de produção de alimentos; (v) Diminuição da competição com áreas de produção de alimentos; (vi) Indicação de áreas com potencial agrícola (solo e clima) para o cultivo da cana-de-açúcar em terras com declividade inferior a 12%, propiciando produção ambientalmente adequada com colheita mecânica; (vii) Unidades industriais já instaladas, a produção de cana para seu suprimento e a expansão programada não são objeto deste zoneamento.

5 METODOLOGIA GERAL

A fim de alcançar os objetivos propostos, fundamentalmente, a metodologia de pesquisa utilizada se resume à revisão bibliográfica e ao exame da literatura científica específica priorizando os temas relacionados às estruturas conceituais e indicadores, hidrologia aplicada, cultura da cana-de-açúcar, mudanças de uso do solo, agronomia e engenharia agrícola etc.

5.1 Abordagem metodológica geral

A abordagem metodológica seguida para a consecução dos objetivos explícitos na presente tese, fundamentalmente, se subdividiu em oito etapas distintas, a saber: (i) Modelagem conceitual do problema ambiental; (ii) Modelagem conceitual do tema/problema de gestão ambiental (ii) Convergência das modelagens conceituais, focalização do objetivo e delimitação do escopo sistema de indicadores; (iv) Estabelecimento de premissas básicas e especificações do sistema de indicadores; (v) Concepção funcional e estruturação organizacional do sistema de indicadores; (vi) Estabelecimento de critérios de seleção de indicadores; (vii) Seleção ou proposição, descrição e definição de indicadores; (viii) Aplicação do sistema de indicadores. Para as etapas nas quais utilizou-se modelagens e outros procedimentos, quando necessário, foram estabelecidas estruturas ou modelos conceituais de referência.

- **(i) Modelagem conceitual do problema ambiental:** Esta etapa metodológica consistiu na realização de uma modelagem conceitual do problema ambiental ensejado pela tendência de expansão da atividade canavieira sobre áreas do bioma Cerrado na Região Centro-oeste do Brasil. Nesta etapa foi utilizada a estrutura conceitual Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto (DPSIR) proposta pela Agencia Ambiental Européia (European Environment Agency (EEA, 2003);
- **(ii) Modelagem conceitual do tema/problema de gestão ambiental:** Esta etapa metodológica consistiu na realização de uma modelagem conceitual do tem/problema de gestão ambiental suscitado pelo problema ambiental ensejado pela tendência de expansão da atividade canavieira sobre áreas do bioma Cerrado na Região Centro-

oeste do Brasil. Nesta etapa foi utilizada a estrutura conceitual Impacto-Probabilidade (CSIR et al., 2001);

- **(iii) *Convergência das modelagens conceituais, focalização do objetivo e delimitação do escopo sistema de indicadores:*** Esta etapa metodológica consistiu na realização de uma convergência entre as duas modelagens conceituais realizadas do problema ambiental (DPSIR) e a do tema/problema de gestão ambiental (Impacto-Probabilidade) por meio de várias subetapas sucessivas para focalizar o objetivo e delimitar o escopo do sistema de indicadores a ser proposto, de modo a permitir posteriormente o estabelecimento de premissas básicas e especificações do sistema de indicadores;
- **(iv) *Estabelecimento de premissas básicas e especificações do sistema de indicadores:*** Esta etapa metodológica consistiu no estabelecimento de um conjunto de regras que se desdobram em premissas básicas e requisitos de modo a balizar a concepção funcional e as especificações que o sistema de indicadores deverá conter.
- **(v) *Concepção funcional e estruturação organizacional do sistema de indicadores:*** Esta etapa metodológica consistiu na concepção funcional e na estruturação organizacional do sistema de indicadores a partir das especificações determinadas;
- **(vi) *Estabelecimento de critérios de seleção ou proposição de indicadores:*** Esta etapa consistiu no estabelecimento de critérios para a seleção ou proposição dos indicadores que serviram de base para a montagem do sistema de indicadores;
- **(vii) *Seleção ou proposição, descrição e definição de indicadores:*** Esta etapa consistiu na seleção e/ou proposição com justificativa e uma descrição detalhada por meio de uma documentação técnica de cada indicador proposto;
- **(viii) *Aplicação do sistema de indicadores:*** Esta etapa consiste da aplicação do sistema de indicadores em um “estudo de caso” especialmente conduzido para testá-lo.

5.2 Metodologias e procedimentos metodológicos específicos

Observa-se que as metodologias utilizadas nesta tese para: (i) a extração de dados e tratamento de dados; (ii) a determinação dos parâmetros; (iii) modelos espacializados temáticos (iv) dentre outros, usados para o cálculo dos indicadores foram devidamente descritas e referenciadas nas respectivas seções dos assuntos pertinentes.

6 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A ELABORAÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO E POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA

6.1 Introdução

O presente capítulo objetiva apresentar um proposta metodológica desenvolvida exclusivamente para atender às exigências do presente trabalho. Contudo, a mesma pode servir de referência para outros trabalhos que tenham objetivos similares. O capítulo foi organizado nos seguintes itens: (i) Fundamentação teórica: Estruturas conceituais ;(ii) Modelagem conceitual do problema ambiental; (ii) Modelagem conceitual do tema/problema de gestão ambiental; (iii) Integração das modelagens dos problemas ambiental e de gestão ambiental; (iv) Estabelecimento das premissas e especificações do sistema de indicadores; (v) Concepção funcional e estruturação organizacional do sistema de indicadores; (vi) Estabelecimento das questões-chave; (vii) Estabelecimento de critérios de seleção de indicadores.

O capítulo traz, desta maneira, os procedimentos metodológicos que foram particularmente adotados para o caso presente, mas, enquanto uma proposta, constitui de certa forma mais um resultado desta tese. Todavia, o esforço empreendido orientou-se no sentido da resolução do problema particular ensejado pela expansão de uma atividade agroindustrial sobre uma região do território nacional cujo bioma e clima suscitam ponderações e ações de planejamento para compatibilizar o desenvolvimento econômico com a preservação dos recursos naturais.

6.2 Fundamentação teórica

6.2.1 Estruturas conceituais

Como salienta Maranhão (2007): “*Ainda não existe uma “Teoria de Indicadores” formalizada, que permita orientar objetivamente a seleção dos mesmos para um determinado objetivo dado*”.

Evidenciado a ausência de uma “*teoria geral sobre indicadores*” que possa balizar de modo seguro e inequívoco a seleção e a proposição de indicadores orientados para um determinado fim ou aplicação, a tarefa de estruturação de *sistemas de indicadores* torna-se mais “árdua”, exigindo da parte dos analistas ou pesquisadores a esta dedicados, a adoção de uma *linha metodológica condutora* que possa conduzir, a contento, a consecução do objetivo determinado. O presente trabalho não constitui exceção à regra e, portanto, se faz imperativo a adoção de *estruturas conceituais de referência* que possam orientar a estruturação do Sistema de Indicadores ora em desenvolvimento.

Pelo caráter multiopcional que lhe é inerente, a tarefa de estruturação de *sistemas de indicadores* traz de início a exigência de se fazer opções explícitas sobre a abordagem metodológica para o enfrentamento do problema enunciado a respeito da definição dos indicadores orientados ao propósito determinado. Neste sentido, o exame da literatura técnica e específica sobre a temática (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2003; HART, 1999; MAGALHÃES Jr. *et al.*, 2003; JANUZZI, 2002) revela diversas proposições teóricas quanto às estruturas conceituais e os sistemas de classificação de indicadores que podem ser utilizados para alicerçar a estruturação de um determinado sistema organizado de indicadores que busque contribuir na gestão de um problema qualquer. Além disso, muitos autores têm sugerido ou argumentado sobre quais as propriedades e requisitos relevantes que devem ser observados por ocasião da escolha de indicadores para um determinado fim, constituindo assim mais uma fonte auxiliadora.

Por outro lado, do ponto de vista prático, qualquer análise comparativa a respeito de algum tema, no âmbito de planejamentos setoriais ou programas de gestão, necessita de alguma modalidade de seleção e agrupamento dos indicadores com base em alguma estrutura conceitual que garanta suficiente organização para que se possa extrair dos indicadores, de forma clara e explícita, as informações a que se propõem. De encontro a esta assertiva, Maranhão (2007) destaca que, em qualquer projeto, a primeira e primordial tarefa consiste em escolher uma estrutura conceitual que permita direcionar a atenção para o foco do problema de gestão ensejado pela questão ambiental em análise, esclarecendo o que deve ser medido e o que se espera desta medição, para então, definir quais os indicadores seriam os mais adequados.

As estruturas conceituais constituem modelos para a representação de uma dada realidade ou situação que exija, do ponto de vista prático, o balizamento e organização dos temas/problemas afeitos e que, portanto, necessitam de serem avaliados e/ou monitorados por medições, cujo significado pode ser veiculado por meio de indicadores pertinentes. As

estruturas conceituais, portanto, facilitam a interpretação dos problemas, permitindo compreender como os diferentes temas se inter-relacionam e, o que é mais importante, ajudam a esclarecer quais são as questões-chave que devem ser respondidas pelos indicadores propositados. Desta forma, as estruturas conceituais são importantes para definir o espectro de temas a ser considerado, apresentando a informação de maneira organizada (ANZECC, 2000).

No campo específico dos indicadores ambientais usados em diversos setores de planejamento e gestão os sistemas de indicadores devem formar conjuntos integrados que obedecem a estruturas conceituais de referência, de forma a permitir o estabelecimento de relações contextuais que constituem a base para a seleção, proposição e o exame dos indicadores que serão aplicados no problema ambiental que se deseja intervir.

As diversas estruturas conceituais propostas na literatura técnica, substancialmente, diferem entre si na maneira pela qual abordam os temas, nos pressupostos de medição atribuídos aos indicadores e nos conceitos de classificação destes. Como salienta Maranhão (2007) as premissas utilizadas para justificar a seleção de indicadores, muitas vezes, não são explicitadas pelos seus autores, deixando o analista com dificuldade para compreender o que esta sendo proposto.

Por fim, ficou claro que diferentes estruturas conceituais podem ser usadas como referência para a seleção individual ou estruturação de um sistema de indicadores, e que, intrinsecamente, nenhuma delas detém superioridade absoluta em relação às demais. Relativamente, a escolha ou opção depende dos objetivos, do nível analítico e do conhecimento científico do problema que se tem em mãos.

Novamente transcrevendo Maranhão (2007): *“O importante é que a estrutura conceitual selecionada assegure que todos os aspectos relevantes envolvidos no problema que se analisa ou no tema de que se está tratando tenham sido contemplados”*

A abordagem metodológica que fundamentou esta etapa do trabalho integra diversas estruturas conceituais que foram sendo adotadas de forma livre, porém explicitadas e justificadas, na medida em que se foi defrontando com o problema ensejado pela necessidade de se pensar em uma estrutura lógica sobre a qual se pudesse construir o sistema de indicadores pretendido. Um sistema de indicadores orientado para avaliação do processo de expansão e do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira, objeto precípuo da presente tese.

6.3 Modelagem conceitual do problema ambiental

6.3.1 Objetivo e justificativa

Para auxiliar na apreensão do problema ambiental em exame neste trabalho - Caso da Expansão da Atividade Canavieira sobre o Bioma Cerrado/ Região Centro-oeste do Brasil e a Pressão sobre os Recursos Hídricos - foi adotada a estrutura: Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta - DPSIR (Driving Force-Pressure-State-Impact-Response) originalmente proposta pela Agência Ambiental Européia (European Environment Agency) (EEA, 2003) a partir da adaptação do modelo conceitual PSR original desenvolvido pela OECD (1993) (FRIEND e RAPPORT, 1979; SMEETS e WETERINGS, 1999).

Várias razões concorreram para a adoção, no momento, do referido modelo, a começar pelo reconhecimento de que, assim como, o modelo original PSR defendida pela OECD, essa estrutura conceitual tem sido amplamente empregada em diversos países para o desenvolvimento de indicadores ambientais (MARANHÃO, 2007 e SMEETS e WETERINGS, 1999). Além disso, como destaca Maranhão (2007) a estrutura DPSIR constitui um modelo conceitual mais detalhado para avaliar os problemas envolvendo meio ambiente e recursos naturais em relação à estrutura PSR original, adicionando dois eixos suplementares de análise: as “forças propulsoras” e os “impactos”. Acresce a estas justificativas, o fato de que a estrutura conceitual DPSIR, e sua precedente, são baseadas especialmente no estabelecimento de cadeias de causa e efeito que são de fácil compreensão para a descrição conceitual de problemas ambientais, ainda que, haja certa sobreposição entre as categorias no momento da classificação precisa dos indicadores. Cumpre também destacar que, para a maioria dos casos, falta maior rigor visto que nem sempre é possível estabelecer correlações estatísticas entre variáveis pareadas e categorizadas como: *Força Motriz x Pressão*; *Pressão x Estado*; *Pressão x Impacto*, etc. Contudo, registrando as limitações, o DPSIR constitui uma abordagem teórica que permite apreender os problemas ambientais estabelecendo uma cadeia de causa e efeito, consubstanciados pelo embate entre as atividades socioeconômicas e o meio ambiente natural.

6.3.2 Descrição da estrutura conceitual de referência: DPSIR.

De acordo com Smeets e Weterings (1999), o desenvolvimento social e econômico exerce “pressão” sobre o meio ambiente que, conseqüentemente, induz a alterações no “estado” ambiental, descrito pela variação das propriedades ecossistêmicas que se estabilizam em níveis diferentes dos averiguados anteriormente a pressão evidenciada. A alteração de estado pode ou não gerar impactos sobre determinados processos ou sistemas naturais ou antrópicos. Os impactos constituem processos em cadeia em diversas dimensões que põem em risco a continuidade dos processos de geração de matéria e energia dos quais as sociedades humanas são totalmente dependentes. Podem inclusive extrapolar a noção imediata de espaço-temporal. Do ponto de vista pragmático significa o rompimento dos serviços ecossistêmicos, dentre eles, a alteração das condições de disponibilidade dos recursos naturais, Por fim, seja pela percepção do problema ou pela necessidade imperiosa de remediar os efeitos deletérios dos impactos ambientais, o ser humano age sobre o meio, atuando em uma das etapas da cadeia de causa e efeito - *Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta* - na tentativa de evitar, mitigar ou reestabelecer as condições ambientais que garantem a continuidade do desenvolvimento econômico e o bem estar social. E assim, o ciclo de fecha acrescentando a última categoria do modelo “resposta”.

A figura 4 apresenta, na forma esquemática, a cadeia de causa e efeito proposto pela estrutura conceitual DPSIR.

A estrutura conceitual do DPSIR se baseia na modelagem de em um ciclo de causa e efeito onde cada categoria representa um vetor (condição ou processo) que assume a condição de causa do vetor subsequente ou é efeito do antecessor. Cada categoria da estrutura conceitual DPSIR pode ser desta forma sumarizada:

- ***Forças propulsoras ou motrizes:*** As “forças propulsoras” correspondem aos fatores subjacentes de caráter antrópico que influenciam as variáveis relevantes na consideração do problema ambiental. As forças propulsoras primárias que representam os fatores gerais mais essenciais como a necessidade de sobrevivência do ser humano, o crescimento demográfico que forçam o aumento do consumo elevando a pressão sobre os recursos naturais. Os indicadores das forças propulsoras se relacionam normalmente como os aspectos demográficos e socioeconômicos das sociedades e variam conforme a evolução dos padrões de consumo, da demanda e produção. Segundo Maranhão (2007) as forças propulsoras não são muito elásticas, ou seja, suas tendências se modificam vagarosamente, mas, salienta o autor, que são úteis para

derivar indicadores de pressão e ajudar os tomadores de decisão a planejar em longo prazo.

- **Pressão:** A “pressão” corresponde aos processos que causam ou podem causar diretamente mudanças de estado. São vetores de transformação das condições (estados) ambientais. Os indicadores de pressão normalmente se referem às causas dos problemas ambientais. Como propriedades os indicadores de pressão devem ser sensíveis a ponto de acusar mudanças em seus valores quando a força propulsora que induz a pressão for alterada por ações corretivas deliberadas para minimizar o problema ou por causas sem controle.
- **Estado:** O “estado” representa todas as condições ambientais que variam na dimensão espaço-temporal e tendem a mudar por causa das pressões sobre os fatores que as determinam. Os indicadores de estado, portanto, avaliam as condições ambientais existentes em um dado momento e monitoram ao longo do tempo as mudanças de estado das condições ambientais. De acordo com Maranhão (2007) no âmbito de um planejamento ambiental, os indicadores de estado são apropriados para avaliar as condições ambientais no marco zero objetos e acompanhar as possíveis mudanças de estado induzidas pelas pressões, porém, deve-se ter claro que esses indicadores possuem uma velocidade de reação lenta, comumente só se manifestando no valor do indicador algum tempo após as mudanças correspondentes terem se instalado.
- **Impacto:** Os “impactos” descrevem os efeitos das pressões sobre o estado atual do meio ambiente. Dependendo do fenômeno relacionado ao impacto, a velocidade de reação dos indicadores de impacto pode ser mais ou menos lenta que a dos indicadores de estado. Por vezes, quando os impactos são sentidos, já é tarde para evita-los, portanto um bom indicador de impacto é aquele que possui sensibilidade suficiente para detectar o processo nos seus estágios preliminares.
- **Resposta:** O processo de “resposta” constitui uma reação humana visando evitar, remediar ou mitigar os efeitos causados pelas as pressões no o estado que geram os impactos. As respostas podem ser direcionadas para qualquer uma dessas categorias citadas incluindo as forças propulsoras.

De acordo com Maranhão (2007) a estrutura DPSIR é mais aplicada para o entendimento das relações de causa e efeito de forma teórica, pois, na prática existem dificuldades formais para estabelecer correlações estatísticas sólidas entre pressões, estado e impactos por causa dos grandes retardos e da influência das variáveis não ambientais.

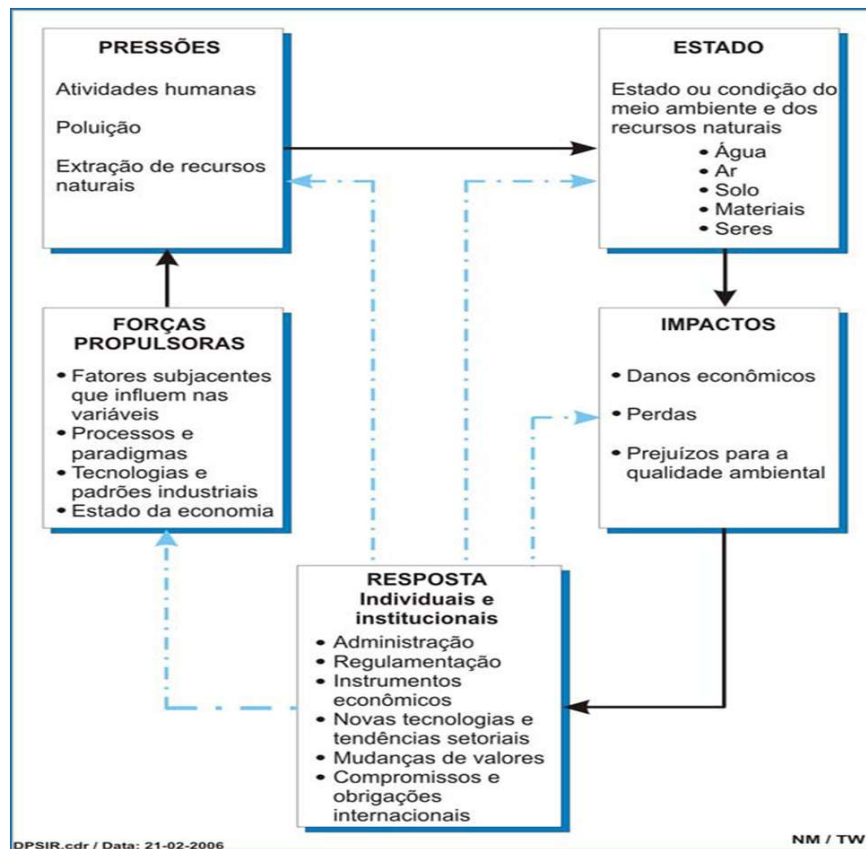


Figura 6 - Representação esquemática do modelo conceitual DPSIR (European Environment Agency - EEA, 2003). Fonte: Segnestam (2002)

6.3.3 Descrição do caso - expansão canieira e os recursos hídricos - com base na estrutura conceitual de referência: DPSIR.

Uma vez tendo sido apresentado os pressupostos da estrutura conceitual DPSIR a proposição no momento consiste em modelar o problema ambiental caso suscitado pela expansão da atividade canieira sobre o bioma Cerrado/ Região Centro-oeste do Brasil e as possíveis pressões que a atividade sucroalcooleira poderá exercer sobre os recursos hídricos de uma dada localidade.

Com base nesse modelo conceitual DPSIR o desenvolvimento agropecuário e mais incisivamente agroindustrial de uma unidade territorial tomada para a análise, por exemplo, uma bacia no meio rural, representa uma força propulsora que impõe pressões e conseqüentemente impactos sobre o meio ambiente, degradando o estado geral do meio ambiente ou de um recurso natural especificamente focalizado. Deste modo, os processos e condições ambientais relacionados à problemática explicitada podem ser observados a luz da

do modelo conceitual de modo a evidenciar quais seriam os pontos focais do problema e como seriam categorizados como os vetores da cadeia de causa e efeito: *Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta*. Permitindo, assim, visualizar com maior clareza os pontos focais que devem ser contemplados e que tipo de indicador seria mais adequado para cada situação.

- **Forças propulsoras:** No caso em questão as forças propulsoras podem ser resumidas por todos os vetores do contexto socioeconômico e da conjuntura política que envolvem e influenciam o desenvolvimento social e econômico de uma bacia hidrográfica. Com efeito, as forças propulsoras podem ser o ingresso do capital produtivo na forma de instalação de uma usina de processamento sucroalcooleira em uma dada localidade. Podem ainda ser associadas a geração de políticas públicas de desenvolvimento em nível nacional, estadual ou municipal como, por exemplo, a abertura de linhas específicas de financiamento ou incentivos fiscais, etc. A infraestrutura local, como estradas de acesso e meios de escoamento da produção como os alcooldutos, também constituem vetores de desenvolvimento. Os recursos naturais favoráveis também podem constituir um atrativo que influencie o crescimento da atividade canavieira em uma determinada região. Em fim, todos os fatores do contexto e conjuntura político-econômica e as condições ambientais podem constituir nas forças propulsoras de indução da atividade canavieira em uma dada região.
- **Pressão:** Os vetores de pressão, no caso presente, são relacionados diretamente com as mudanças de uso e cobertura do solo causadas pela expansão da cultura canavieira, apropriação de novas terras, e, pelo aumento da demanda de água por conta do expressivo consumo de água para atender os volumes exigidos para a irrigação da cultura, sob o regime de salvamento, suplementar ou pleno, além da demanda para o processamento agroindustrial da produção de cana-de-açúcar.
- **Estado:** As condições ambientais que retratam o “estado” geral do meio ambiente, restritivo ou favorável a atividade canavieira, podem ser divididas tematicamente para facilitar a apreensão da realidade ambiental de modo a permitir uma melhor visualização dos pontos focais relacionados. No caso em questão, destaca-se as condições climáticas, edáficas, hídricas e de relevo. As condições climáticas caracterizadas como *favorabilidade climática* reúne todos os fatores meteorológicos do clima que influenciam favoravelmente ou restritivamente o cultivo da cultura canavieira. As condições edáficas são aquelas relacionadas com o potencial de aptidão

agrícola determinado pelas características e propriedades pedológicas, que aqui serão designadas de forma genérica como *favorabilidade edáfica*. As condições de produção de água superficial e subterrânea consubstanciam o potencial hídrico de uma região, determinando a oferta e as disponibilidades hídricas que, em conjunto, para efeito deste exame, podem ser designadas como *potencialidade hídrica*. As condições de relevo, caracterizadas pela topografia dos terrenos onde a declividade a forma e extensão das vertentes configuram as condições de *adequabilidade topográfica*. As variáveis que descrevem as diferentes condições ambientais constituem as *variáveis de estado* cuja variação descreve as mudanças nas condições do estado ambiental. Com efeito, os indicadores de estado podem apontar para uma condição ambiental momentânea ou, podem fazer alusão para uma condição ambiental provável caso se considere a atuação de uma determinada pressão ambiental potencial que force as mudanças das condições ambientais originais. Esta distinção é importante, pois, ajuda a visualizar as distintas perspectivas de avaliação, diagnóstica ou prognóstica, em relação às condições ambientais para as quais se aloca diferentes indicadores.

- **Impacto:** Os impactos assumem, no presente caso, duas dimensões diferentes. Os impactos contra as condições ambientais influenciando a capacidade de suporte ou a disponibilidade dos recursos naturais para a própria atividade canavieira ou os impactos contra fatores externos à atividade canavieira como contra a biodiversidade outras atividades produtivas, etc.
- **Resposta:** As respostas podem ser compreendidas pelas ações em diferentes níveis de intensidade e escalas de atuação. Podendo variar deste a esfera da geração de políticas até ações localizadas no âmbito de uma bacia hidrográfica pelo poder público e/ou a sociedade civil, organizada ou não.

O Quadro 1 apresenta de modo sumarizado uma seleção dos principais pontos focais que são os processos e condições ambientais considerados relevantes para a definição do problema em exame.

Quadro 1 - Processos e condições ambientais relacionados ao problema ambiental modelado: Expansão Canavieira e Sustentabilidade Hídrica (PDSIR). (continua)

DPSIR	PONTOS FOCAIS RELACIONADOS AOS PROCESSOS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO PROBLEMA AMBIENTAL MODELADO
FORÇA	1 IFP – Crescimento populacional
PROPULSORA	2 IFP – Aumento do consumo e da demanda de gêneros agrícolas

Quadro 1 - rocessos e condições ambientais relacionados ao problema ambiental modelado: Expansão Canavieira e Sustentabilidade Hídrica (PDSIR). (continuação)

DPSIR	PONTOS FOCAIS RELACIONADOS AOS PROCESSOS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO PROBLEMA AMBIENTAL MODELADO
	<p>3 IFP – Mercado nacional e internacional favoráveis</p> <p>4 IFP – Políticas internas de incentivo/políticas de redução de Carbono/MDL</p> <p>5 IFP – Infraestrutura e logística da região centro-oeste</p> <p>6 IFP – Desenvolvimento socioeconômico da UTA</p>
PRESSÃO	<p>1 IP – Pressão sobre os meios de produção/solo (espaço geográfico)</p> <p>2 IP – Pressão sobre os remanescentes florestais/ biodiversidade</p> <p>4 IP – Pressão sobre o recurso natural “solo”</p> <p>3 IP – Pressão sobre os recursos hídricos de superfície</p> <p>5 IP – Pressão sobre os recursos hídricos de subterrâneos</p>
ESTADO	<p>1 IE – Uso e ocupação do solo (mudança de uso – mudança de <i>Estado</i>)</p> <p>2 IE – Remanescente da vegetação nativa (supressão da vegetação – mudança de <i>Estado</i>)</p> <p>3 IE – Favorabilidade climática (mudanças climáticas globais – mudança de <i>Estado</i>)</p> <p>4 IE – Favorabilidade Edáfica (degradação físico-química – mudança de <i>Estado</i>)</p> <p>5 IE – Adequação Topográfica (obras civis – mudança de <i>Estado</i>)</p> <p>6 IE – Oferta Hídrica Superficial (alterações na disponibilidade – mudança de <i>Estado</i>)</p> <p>7 IE – Oferta Hídrica Subterrânea (alterações na disponibilidade – mudança de <i>Estado</i>)</p> <p>8 IE – Qualidade da Água Superficial (alterações da qualidade - mudança de <i>Estado</i>)</p> <p>9 IE – Qualidade da Água Subterrânea(alterações da qualidade - mudança de <i>Estado</i>)</p>
IMPACTO	<p>1 II- Sobre outras atividades agropecuárias (emprego/renda/capital)</p> <p>2 II – Sobre a biodiversidade (equilíbrio biológico/ecológico)</p> <p>3 II – Sobre os solos (erosão, compactação, depleção da fertilidade/matéria orgânica)</p> <p>6 II – Sobre a disponibilidade hídrica superficial (aumento do uso/alteração do regime)</p> <p>7 II – Sobre disponibilidade hídrica subterrânea (aumento do uso/alteração da recarga)</p> <p>8 II – Contaminação dos mananciais hídricos superficiais (aumento da poluição)</p> <p>9 II – Contaminação dos mananciais hídricos subterrâneos (aumento da poluição)</p>

Quadro 1 - Processos e condições ambientais relacionados ao problema ambiental modelado: Expansão Canavieira e Sustentabilidade Hídrica (PDSIR). (conclusão)

DPSIR	PONTOS FOCAIS RELACIONADOS AOS PROCESSOS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO PROBLEMA AMBIENTAL MODELADO
RESPOSTA	1 IR- Políticas públicas (ordenamento territorial/desenvolvimento/financiamento)
	2IR – Ações de Articulação (mecanismos de auto-regulação do setor sucroalcooleiro)
	3 IR – Planos Integrados de gestão RH/ Bacia
	4 IR – Políticas/Mecanismos de outorga de direito de uso de água
	5 IR – Ações não-governamentais (sociais/sustentabilidade/preservação ambiental)

Nota: (i) IFP - Indicador de Força Propulsora; (ii) IP – Indicador de Pressão; (iii) IE – Indicador de Estado; (iv) II – Indicador de Impacto; (v) IR – Indicador de Resposta.

6.4 Modelagem conceitual do tema/problema de gestão ambiental

6.4.1 Justificativa e objetivo

Para auxiliar na apreensão do tema ou do problema de gestão suscitado pela problemática ambiental em exame neste trabalho, foi adotada a estrutura Impacto-Probabilidade proposta por (CSIR *et al.*, 2001)

6.4.2 Descrição da estrutura conceitual de referência: impacto-probabilidade.

A modelagem conceitual, *Impacto-probabilidade*, aplicada ao tema/problema de gestão ensejado pelo problema ambiental descrito anteriormente se baseia na relação entre o risco (probabilidade) e a intensidade potencial dos impactos ambientais a partir da antevisão das possíveis conseqüências que podem ocorrer caso a situação continue na mesma tendência de evolução. O modelo conceitual tenta estabelecer os diferentes níveis de gravidade dinâmica dos problemas em função da probabilidade e intensidade de impactos que determinarão, por sua vez, o nível de ação que se deve interpor para a mitigação ou remediação dos processos impactantes. De outra forma, a estrutura conceitual Impacto-probabilidade se fundamenta na

análise de sustentabilidade estratégica com base em dois eixos: a probabilidade do tema/problema em exame se tornar um problema real com diferentes níveis de intensidade dos impactos que podem decorrer da situação em análise. O método pode ser melhor visualizado por meio de um gráfico dividido em quadrantes. Os quatro quadrantes definem áreas de variação dos valores dos indicadores facilitando a interpretação qualitativa da situação ambiental e define o nível de ação em termos de importância e premência. A figura 5 apresenta o gráfico diagrama por meio do qual o método pode ser apreciado e melhor compreendido.

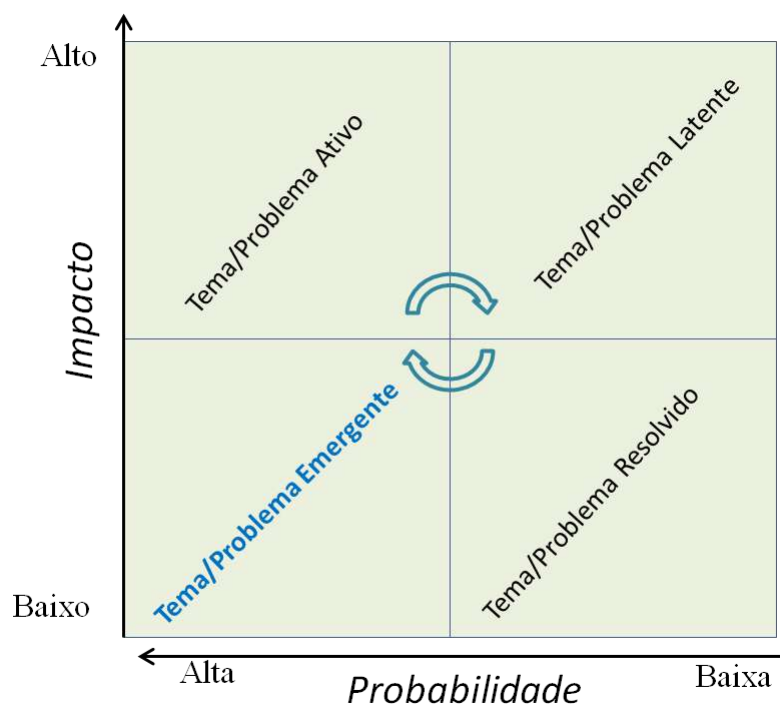


Figura 7 - Diagrama da estrutura conceitual Impacto-probabilidade. Fonte: Adaptado de: CSIR et al. (2001)

Cada quadrante se relaciona com nível de criticidade do problema ambiental modelado. Sendo assim a seguir, encontram-se sumarizados as quatro categorias classificadas como tema/problema:

- **Tema/Problema Ativo:** engloba os temas ambientais que apresentam alta probabilidade de se tornarem de imediato um problema de alto impacto ou já constituem um problema instalado. São temas de relevância primordial que devem fazer parte destacada da agenda de gestão, visando o gerenciamento obstinado dos problemas, pois exigem a pronta implementação de ações orientadas para a solução

planejada ou improvisada do problema ambiental. O foco da gestão, neste caso, deve-se ater, prioritariamente, no monitoramento dos processos de: *Pressão, Mudança de Estado e Impacto* (DPSIR) - para a implementação de ações imediatas para remediar ou mitigar os conseqüentes efeitos deletérios. Possivelmente, dependendo do estágio de evolução da situação ambiental e do tempo de implementação das ações mitigadoras em *Resposta* (indicadores de resposta ou desempenho) aos impactos monitorados já possam ser empreendidas. Ações de avaliação prognóstica, por meio de indicadores de *Estado*, ainda podem ser, secundariamente, implementadas, visando à previsão da situação futura (possível acirramento da situação em curso), antecipando as providencias e as ações gerenciais de contra-ofensiva. Porém, ações de avaliação diagnóstica, visando o planejamento ambiental *ex-ante*, não devem ser estimuladas, visto que, a situação provavelmente já passou do momento de ser planejada;

- **Tema/Problema Emergente:** engloba os temas ambientais com crescente probabilidade de se transformarem problemas ambientais cujos impactos, embora baixos no momento, apresentam forte potencial de se tornarem altos. Constituem temas que exigem atenção especial para não se tornarem, em curto espaço de tempo, um tema ativo. Por esta razão, o planejamento ambiental deve possuir caráter prioritário, visando balizar a implementação de ações preventivas. Em subsídio aos planejamentos ambientais, ressalta-se a importância da avaliação diagnóstica e prognóstica, ambas *ex-ante* ao problema, que são realizadas, sobretudo, por meio de indicadores de *Estado*, para seguir o modelo conceitual DPSIR. Estado relacionado às condições ambientais atuais (avaliação diagnóstica) e as possíveis condições futuras (avaliação prognóstica). Embora, o planejamento deva ser priorizado, a emergência da situação já cabe ser monitorada, não prescindindo o empreendimento de ações de monitoramento com frequência suficiente para o exame periódico da situação em curso, visando à implementação de ações preventivas para serem acionadas no momento adequado. Com base na estrutura conceitual DPSIR os indicadores mais apropriados para esta fase são aqueles que fazem o monitoramento da: *Pressão, Mudança de Estado e Impacto*.
- **Tema/Problema Latente:** são temas ambientais com baixa probabilidade de ocorrência, mas, podem se manifestar como um problema de alto impacto. Devem ser considerados como parte de uma gestão de longa duração, pois, a probabilidade presente de tornarem-se problemas com impactos decorrentes é reconhecidamente baixa. São temas que exigem apenas a implementação de um programa de

monitoramento de baixa frequência por meio, sobretudo, de indicadores de *Força propulsora, Pressão e Mudança de Estado* (DPSIR);

- **Tema/Problema Resolvido:** são temas ambientais com baixa probabilidade de manifestar-se, ainda assim, como um problema de baixo impacto. São temas que os programas de gestão os considera como resolvidos ou reduzidos a níveis tidos como aceitáveis, exigindo no máximo o concurso de intervenções específicas e pontuais. O monitoramento deve prosseguir para garantir que as intervenções empreendidas foram bem conduzidas (indicadores de resposta ou desempenho) mas o retorno do problema prossegue extremamente improvável.

O Quadro 2 apresenta o resumo das categorias classificadas como: tema/problema, ativo, emergente, latente ou resolvido.

Quadro 2 - Propriedades do modelo *Impacto-probabilidade* adaptado para avaliar o problema de gestão ambiental.

PROPRIEDADES	TEMAS/PROBLEMAS			
	Ativo	Emergente	Latente	Resolvido
Probabilidade	Alta	Crescente	Baixa	Baixa
Impacto	Alto	Baixo → Alto	Alto	Baixo
Gestão Modalidades	1° Monitoramento (Alta) (Frequência)	1° Planejamento (diagnóstico) (prognóstico)	1° Monitoramento (Baixa) (Frequência)	1° Monitoramento (Baixa) (Frequência)
	2° Planejamento (prognóstico)	2° Monitoramento (Média) (Frequência)	-	-
Indicadores DPSIR	Impacto Estado (mudança) Pressão	Pressão Estado (mudança) Impacto	Força propulsora Pressão Estado (mudança)	Resposta Desempenho

6.4.3 Descrição do tema/problema de gestão com base na estrutura conceitual de referência: Impacto-probabilidade.

6.4.3.1 Justificativa e objetivo

Considerando as modelagens apresentadas, relacionadas ao caso: *Expansão da Atividade Canavieira na sobre o Cerrado/ Região Centro-oeste do Brasil e Recursos Hídricos* - a primeira referente à modelagem do problema ambiental, por este ensejado, e a segunda, referente à modelagem do problema de gestão ambiental suscitado pelo mesmo; o presente ítem apresenta o enquadramento do caso explicitado com base na conjunção das duas estruturas conceituais de referência adotadas.

A justificativa e o objetivo do enquadramento proposto, primeiramente, consistem em tornar a situação mais clara, possibilitando a proposição de premissas e requisitos para a estruturação do Sistema de Indicadores em elaboração. Desta forma, será possível visualizar com maior clareza as questões cruciais, imprescindíveis do ponto de vista da gestão, e, ao mesmo tempo, tentar identificar os principais processos a serem monitorados e os principais estados a serem avaliados e os tipos de indicadores pertinentes ou mais adequados. Em segundo lugar, pretende-se evidenciar a aderência e pertinência das estruturas conceituais de referência adotadas – DPSIR e Impacto - Probabilidade – no trato teórico dos problemas, ambiental e de gestão, relacionados ao caso em questão.

6.4.3.2 Descrição do tema /problema de gestão

Uma vez tendo sido incorporado a base conceitual e o propósito dos modelos conceituais de referência torna-se mais fácil estabelecer a relação do problema ambiental com o problema de gestão por este suscitado.

Para facilitar à compreensão das relações implícitas, inerentes questão ambiental, evidenciada pelas modelagens sob a ótica da gestão e do problema ambiental, adotou-se o procedimento de estabelecer um quadro sinóptico de forma a explicitar as referidas relações.

Assim, considera-se que, para efeito de referência deste trabalho, o caso em exame: *Expansão da atividade canavieira sobre áreas do Cerrado/ Região Centro-oeste do Brasil e a disponibilidade hídrica* – se enquadra na categoria de Tema/Problema Emergente conforme a metodologia/estrutura conceitual explicitada *Impacto-probabilidade* (CSIR *et al.*, 2001,).

O Quadro 3 apresenta as evidências para o enquadramento do caso: *Expansão da atividade canavieira sobre áreas do Cerrado/ Região Centro-oeste do Brasil e a disponibilidade hídrica* - como um Tema/Problema Emergente.

Quadro 3 - Evidências para o enquadramento do caso - expansão da cultura canavieira sobre a Mesorregião sul Goiano - como um Tema/Problema Emergente. (continua)

PROPRIEDADES	TEMA/PROBLEMA EMERGENTE	EVIDÊNCIAS PARA O ENQUADRAMENTO DO CASO COMO UM TEMA/PROBLEMA EMERGENTE
Probabilidade	Crescente → Média → Alta	1EP - Área atual de ocupação da cultura canavieira
		2EP - Aumento das taxas de crescimento da área cultivada com a cultura canavieira
		3EP - Crescimento do número de usinas instaladas / pedidos de instalação
		4EP - Crescimento na participação do PIB setorial
		5EP - Experiência pretérita (padrão de expansão canavieira) Estados do NE, SP, PR.
Impacto	Baixo → Alto	1EI - Diminuição e deslocamento das áreas de outras atividades agrícolas/pecuárias
		2EI - Supressão da vegetação nativa (áreas pequenas mas o impacto é considerável)
		3EI - Padrão pretérito de expansão da atividade canavieira observado em outras localidades (NE; SP)
		4EI - Déficit hídrico (relativa desfavorabilidade climática)
		5EI - Alta demanda hídrica (Regime de irrigação suplementar/pleno e processamento industrial da produção)
Gestão Modalidades	1º Planejamento (diagnóstico)	1EG - Zoneamento Agroecológico da Cultura da Cana-de-açúcar - ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009)
	1º Planejamento (prognóstico)	Sem evidências*
	2º Monitoramento (média frequência)	2EG - Projeto de Monitoramento da cultura da Cana-de-açúcar - CANASAT (INPE)

Quadro 3 - Evidências para o enquadramento do caso - expansão da cultura canavieira sobre a Mesorregião sul Goiano - como um Tema/Problema Emergente. (conclusão)

PROPRIEDADES	TEMA/PROBLEMA EMERGENTE	EVIDÊNCIAS PARA O ENQUADRAMENTO DO CASO COMO UM TEMA/PROBLEMA EMERGENTE
Indicadores DPSIR	Pressão	1EI _p - Taxas de expansão da cultura canavieira Dados CANASAT (INPE)
	Estado	2EI _e - Dados de Favorabilidade edafoclimática: Zoneamento Agroecológico da Cultura da Cana-de-açúcar - ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009)
		3EI _e - Área de ocupação da cultura canavieira Dados CANASAT (INPE)
	Impacto	Sem evidências*

Nota: (i) EP - Evidência de probabilidade crescente; (ii) EI - Evidência de alto potencial de impacto; (iii) EG – Evidencia de mecanismos de gestão institucionalizada; (iv) EI - Evidência de Indicadores institucionais (p- Pressão; e - Estado); Obs: * sem evidências de mecanismos oficiais /institucionalizados – significa ausência ou não foi encontrado por esta pesquisa.

6.5 Integração das modelagens conceituais do problema ambiental e do problema de gestão ambiental.

6.5.1 Justificativa e objetivo

O objetivo da integração dos dois modelos conceituais é estabelecer uma relação de convergência entre os *pontos focais* visualizados pela modelagem do problema pelo método DPSIR e os *eixos de gestão* determinados conforme o estágio do tema/problema identificado para o caso em questão. Como visto os *pontos focais* representam os processos e condições ambientais relevantes e passíveis de serem avaliados ou monitorados por meio de indicadores, e, os *eixos de gestão*, por sua vez, representam linhas de gestão que devem ser priorizadas conforme os pressupostos da classificação do tema/problema. Ou seja, o procedimento constitui na integração ou convergência entre os *eixos de gestão e os pontos focais* de modo a permitir identificar quais são os processos e condições ambientais que são aderentes aos pressupostos dos *eixos de gestão* prioritários. A visualização permite fazer uma triagem ou seleção dos principais *pontos focais* que devem ser contemplados pelo sistema de indicadores.

6.5.2 Seleção dos processos e condições relevantes (pontos focais) por redução da pertinência

O procedimento metodológico para a seleção dos principais processos e das condições relevantes (*pontos focais*) consiste em realizar uma triagem dos processos e condições ambientais considerados, a princípio, como os mais relevantes e pertinentes pela modelagem do problema ambiental. O propósito explícito desta providência é reduzir o campo de abrangência posto pela modelagem do problema de gestão através da classificação da pertinência de cada processo e condição para restringir a escolha futura dos indicadores (escolha restrita) reduzindo o número de possíveis indicadores a serem selecionados e propostos. Em termos práticos significa reduzir o número de processos e condições (estados) ambientais, focalizando a atenção naqueles realmente pertinentes dentro das premissas colocadas pelo modelo de gestão a ser seguindo.

Na presente aplicação a avaliação da pertinência se baseou em um veredito binário do tipo: Pertinente / Não Pertinente. Nota-se ainda, que algumas categorias de processos e condições ambientais (*pontos focais*) avaliadas a designação dupla (“pertinente” e “não pertinente”), pois algumas condições de *estado* foram consideradas pertinentes para serem indicadas, mas, a mudança destes não foram, considerando os propósitos restritos do Sistema em elaboração. O Quadro 4 apresenta a avaliação da pertinência dos *Pontos Focais*, referentes aos processos e condições ambientais, modelados para a estruturação do Sistema de Indicadores.

Quadro 4 - Avaliação da pertinência dos *Pontos Focais*, referentes aos processos e condições ambientais, modelados para a estruturação do Sistema de Indicadores. (continua)

PROCESSOS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS TIPOS DE INDICADORES	CLASSIFICAÇÃO DE PERTINÊNCIA
1 - Crescimento populacional (IFP)	Não Pertinente
2 - Aumento do consumo e da demanda de gêneros agrícolas (IFP)	Não Pertinente
3 - Mercado nacional e internacional favoráveis (IFP)	Não Pertinente
4 - Políticas internas de incentivo/políticas de redução de Carbono/MDL (IFP)	Não Pertinente
5 - Infraestrutura e logística da região centro-oeste (IFP)	Não Pertinente
6 - Desenvolvimento socioeconômico da UTA (IFP)	Não Pertinente
7 - Pressão sobre o uso solo (espaço de produção) (IP)	Pertinente
8 - Pressão sobre os remanescentes florestais/ biodiversidade (IP)	Pertinente

Quadro 4 - Avaliação da pertinência dos Pontos Focais, referentes aos processos e condições ambientais, modelados para a estruturação do Sistema de Indicadores. (continuação)

PROCESSOS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS TIPOS DE INDICADORES	CLASSIFICAÇÃO DE PERTINÊNCIA
9 - Pressão sobre o recurso natural solo (IP)	Não Pertinente
10 - Pressão sobre os recursos hídricos de superfície (IP)	Pertinente
11 - Pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos (IP)	Pertinente
12 - Uso e ocupação do solo (mudança de uso/ mudança de <i>Estado</i>) (IE)	Pertinente
13 - Remanescente da vegetação nativa (supressão da vegetação/mudança de <i>Estado</i>) (IE)	Pertinente
14 - Favorabilidade climática* (mudanças climáticas globais/mudança de <i>Estado</i> **) (IE)	Pertinente* Não Pertinente**
15 - Favorabilidade Edáfica (degradação físico-química/mudança de <i>Estado</i> **) (IE)	Pertinente* Não Pertinente**
16 - Adequação Topográfica* (obras civis/mudança de <i>Estado</i> **) (IE)	Pertinente* Não Pertinente**
17- Oferta/disponibilidade hídrica Superficial (alterações na disponibilidade/mudança de <i>Estado</i>) (IE)	Pertinente
18 - Oferta/disponibilidade hídrica Subterrânea (alterações na disponibilidade/mudança de <i>Estado</i>) (IE)	Pertinente
19 - Qualidade da Água Superficial (alterações da qualidade/mudança de <i>Estado</i>) (IE)	Não Pertinente
20 - Susceptibilidade natural da unidade ambiental (bacia) à alterações/impactos na produção de água (regime hidrológico) (IE)	Pertinente
21 - Qualidade da água subterrânea (alterações da qualidade/mudança de <i>Estado</i>) (IE)	Não Pertinente
22 - Vulnerabilidade dos mananciais à contaminação por poluentes (IE)	Pertinente
23 - Impactos sobre outras atividades agropecuárias (emprego/renda/capital) (II)	Não Pertinente
24 - Impactos sobre a biodiversidade (equilíbrio biológico/ecológico) (II)	Não Pertinente
25 Impactos sobre os solos (erosão, compactação, depleção da fertilidade/matéria orgânica) (II)	Não Pertinente
26 Impactos sobre a disponibilidade hídrica superficial (aumento do uso/alteração do regime) (II)	Pertinente
27 Impactos sobre disponibilidade hídrica subterrânea (aumento do uso/alteração da recarga) (II)	Pertinente
28 - Contaminação dos mananciais hídricos superficiais (aumento da poluição) (II)	Não Pertinente
29 - Contaminação dos mananciais hídricos subterrâneos (aumento da poluição) (II)	Não Pertinente

Quadro 4 - Avaliação da pertinência dos Pontos Focais, referentes aos processos e condições ambientais, modelados para a estruturação do Sistema de Indicadores. (conclusão)

PROCESSOS E CONDIÇÕES AMBIENTAIS TIPOS DE INDICADORES	CLASSIFICAÇÃO DE PERTINÊNCIA
30 - Políticas públicas (ordenamento territorial/desenvolvimento/financiamento) (IR)	Não Pertinente
31 - Ações de Articulação (mecanismos de auto-regulação do setor sucroalcooleiro) (IR)	Não Pertinente
32 - Planos Integrados de gestão RH/ Bacia (IR)	Não Pertinente
33 - Políticas/Mecanismos de outorga de direito de uso de água (IR)	Não Pertinente
34 - Ações não-governamentais (sociais/sustentabilidade/preservação ambiental) (IR)	Não Pertinente

Nota: (i) IFP - Indicador de Força Propulsora; (ii) IP – Indicador de Pressão; (iii) IE – Indicador de Estado; (iv) II – Indicador de Impacto; (v) IR – Indicador de Resposta.

Feita a análise para a redução da pertinência dos processos e condições ambientais que serão foco do Sistema de Indicadores em construção, cumpre esclarecer os critérios de avaliação de algumas categorias listadas. Desta maneira, pode-se sumarizar:

- Todas as categorias de processo e/ou condições ambientais (Estado) que se relacionam com os indicadores de Força Propulsora foram consideradas não pertinentes, pois o modelo de gestão para o Tema/Problema Emergente, não indica ou prioriza as forças subjacentes ao mesmo. A consideração feita, neste caso, é que o processo que caracteriza o Tema/Problema já está em curso e delineado e, portanto, exige uma atenção especial de gerenciamento. Apesar de que, pode-se deduzir que mudanças no contexto das forças propulsoras podem acelerar ou amenizar o desenvolvimento do processo ambiental em curso;
- Todas as categorias de processo e/ou condições ambientais (Estado) que se relacionam com os indicadores de Resposta foram consideradas não pertinentes, pois o modelo de gestão para o Tema/Problema Emergente, não indica ou prioriza a avaliação do desempenho de ações mitigadoras nesta fase, visto que, a prioridade ainda é planejar para traçar as estratégias de monitoramento e ações de intervenção a serem no futuro acompanhadas por indicadores de desempenho;
- Os processos de impacto sobre o recurso solo e os processos de alteração de estado relacionados ao sistema solo, assim como os impactos sobre a biodiversidade, foram considerados “não pertinentes”, pois, fogem ao escopo temático do Sistema de Indicadores que é orientado para a avaliação do processo de expansão da cultura

canavieira e os recursos hídricos. Entretanto, a avaliação da favorabilidade edáfica (condição ambiental de estado) é parte importante do Sistema;

- O estado e os processos de impacto sobre a qualidade da água também foram considerados “não pertinentes”, pois, apesar de serem relativos aos recursos hídricos, não são considerados tão importantes quanto dimensão quantitativa da água na escala de observação do fenômeno considerada. Entretanto, o estado de vulnerabilidade à contaminação (perda qualitativa) foi considerado pertinente para compor um Sistema de Indicadores como o que se pretende propor.

6.6 Estabelecimento das linhas de gestão.

A partir dos resultados da seleção dos Pontos Focais, referentes aos processos e condições ambientais considerados pertinentes conforme os pressupostos dos Eixos de Gestão, o procedimento seguinte consistiu em estabelecer as Linhas de Gestão. As Linhas de Gestão constituem linhas temáticas de referência com um ou mais tipos de indicadores (DPSIR) atendendo a um ou dois Eixos de Gestão determinados. Desta forma, as Linhas de Gestão contribuem para fechar o foco nos processos pertinentes que balizarão a escolha dos indicadores do Sistema. O Quadro 5 apresenta as Linhas de Gestão, Eixos de Gestão, Tipo de Indicadores e os processos que podem ser relacionados.

Quadro 5 - Linhas de Gestão, Eixos de Gestão, Tipos de Indicadores e processos relacionados. (continua)

CARACTERÍSTICAS	LINHAS DE GESTÃO
Linha de Gestão 1: Pressão sobre o uso solo (espaço de produção)	
Tipo de Indicador	Pressão
Eixo de Gestão	Monitoramento
Processo relacionado	Número de usinas instaladas/ Taxa de expansão da área cultivada
Linha de Gestão 2: Pressão sobre os remanescentes florestais/ biodiversidade	
Tipo de Indicador	Pressão
Eixo de Gestão	Monitoramento
Processo relacionado	Número de solicitação de instalação de usinas/ Taxa de expansão da área cultivada

Quadro 5 - Linhas de Gestão, Eixos de Gestão, Tipos de Indicadores e processos relacionados. (continuação)

CARACTERÍSTICAS	LINHAS DE GESTÃO
Linha de Gestão 3: Pressão sobre os recursos hídricos de superfície	
Tipo de Indicador	Pressão
Eixo de Gestão	Monitoramento
Processo relacionado	Número de solicitação de instalação de usinas/ Taxa de expansão da área cultivada
Processo relacionado	Nº de solicitações de outorgas de uso da água
Processo relacionado	Favorabilidade/desfavorabilidade climática (exigência de irrigação)
Processo relacionado	Potencial par expansão da cultura canavieira/ Total de área apta para o cultivo
Linha de Gestão 4: Pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos	
Tipo de Indicador	Pressão
Eixo de Gestão	Monitoramento
Processo relacionado	Número de solicitação de instalação de usinas/ Taxa de expansão da área cultivada
Processo relacionado	Nº de solicitações de outorgas de uso da água
Processo relacionado	Favorabilidade/desfavorabilidade climática (exigência de irrigação)
Processo relacionado	Potencial de expansão da cultura canavieira/ Total de área apta para o cultivo
Linha de Gestão 5: Uso e ocupação do solo / mudança de uso e ocupação do solo	
Tipo de Indicador	Estado
Tipo de Indicador	Pressão/Impacto: sobre os recursos naturais (solo, água, biodiversidade)
Tipo de Indicador	Pressão/Impacto: sobre atividades agropecuárias
Eixo de Gestão	Monitoramento
Processo relacionado	Padrões detectáveis (SR) de uso e cobertura do solo
Processo relacionado	Processos indiretos (proximidade de usinas, taxas produção, dados censitários)
Linha de Gestão 6: Remanescente de vegetação nativa/supressão da vegetação	
Tipo de Indicador	Estado
Tipo de Indicador	Pressão/Impacto: sobre a biodiversidade/ propriedades ecossistêmicas/ preservação dos recursos hídricos
Eixo de Gestão	Monitoramento
Processo relacionado	Padrões detectáveis (SR) de mudança de uso com supressão da vegetação nativa

Quadro 5 - Linhas de Gestão, Eixos de Gestão, Tipos de Indicadores e processos relacionados. (continuação)

CARACTERÍSTICAS	LINHAS DE GESTÃO
Linha de Gestão 7: Favorabilidade climática	
Tipo de Indicador	Estado
Tipo de Indicador	Pressão: indicador indireto da pressão sobre os recursos hídricos
Eixo de Gestão	Planejamento (avaliação diagnóstica)
Processo relacionado	Clima (regime pluviométrico/térmico, etc)
Linha de Gestão 8: Favorabilidade Edáfica	
Tipo de Indicador	Estado
Eixo de Gestão	Planejamento (avaliação diagnóstica)
Processo relacionado	Distribuição e classes taxonômicas dos solos
Linha de Gestão 9: Adequação Topográfica	
Tipo de Indicador	Estado
Eixo de Gestão	Planejamento (avaliação diagnóstica)
Processo relacionado	Modelado Topográfico/Classes de declividade
Linha de Gestão 10: Oferta/disponibilidade hídrica superficial /alterações na disponibilidade / disponibilidade x demanda	
Tipo de Indicador	Estado: de oferta e disponibilidade do recurso hídrico
Tipo de Indicador	Estado (Potencial): cotejo da disponibilidade e a demanda potencial
Tipo de Indicador	Pressão/Impacto: alteração da disponibilidade pode ser considerada um vetor de pressão/impacto sobre os recursos hídricos e atividades dependentes.
Eixo de Gestão	Planejamento (avaliação diagnóstica e prognóstica)/Monitoramento
Processo relacionado	Produção e regime de vazões (vazões características)
Processo relacionado	Densidade de drenagem/ clima
Linha de Gestão 11: Oferta/disponibilidade hídrica subterrânea / alterações na disponibilidade/ disponibilidade x demanda	
Tipo de Indicador	Estado: de oferta e disponibilidade do recurso hídrico
Tipo de Indicador	Estado (Potencial): cotejo da disponibilidade e a demanda potencial
Tipo de Indicador	Pressão/Impacto: alteração da disponibilidade pode ser considerada um vetor de pressão/impacto sobre os recursos hídricos e atividades dependentes.
Eixo de Gestão	Planejamento (avaliação diagnóstica e prognóstica)/Monitoramento
Processo relacionado	Recarga de reservas renováveis/ descargas dos aquíferos
Processo relacionado	Densidade de drenagem/ clima/ características hidrogeológicas

Quadro 5 - Linhas de Gestão, Eixos de Gestão, Tipos de Indicadores e processos relacionados. (conclusão)

CARACTERÍSTICAS	LINHAS DE GESTÃO
Linha de Gestão 12: Susceptibilidade natural da bacia às alterações de uso do solo com impactos na produção de água	
Tipo de Indicador	Estado
Eixo de Gestão	Planejamento (avaliação diagnóstica)
Processo relacionado	Fragilidade natural (geomorfológicas/pedológicas/hidrogeológica/hidrológicas)
Linha de Gestão 13: Vulnerabilidade dos mananciais hídricos à contaminação por poluentes/efluentes agroindustriais	
Tipo de Indicador	Estado
Eixo de Gestão	Planejamento (avaliação diagnóstica)
Processo relacionado	Fragilidade natural (geomorfológicas/pedológicas/hidrogeológica/hidrológicas)
Linha de Gestão 14: Impactos sobre outras atividades agropecuárias	
Tipo de Indicador	Impacto/ Pressão
Eixo de Gestão	Monitoramento
Processo relacionado	Perda/substituição de áreas de produção de outras culturas
Processo relacionado	Diminuição da produção/ nº de propriedades agrícolas especializadas
Linha de Gestão 15: Impactos sobre a biodiversidade	
Tipo de Indicador	Impacto
Tipo de Indicador	Pressão: Indicador indireto de Pressão sobre os recursos hídricos
Eixo de Gestão	Monitoramento
Processo relacionado	Supressão de áreas de vegetação nativa
Linha de Gestão 16: Impactos sobre a disponibilidade hídrica superficial	
Tipo de Indicador	Impacto
Eixo de Gestão	Monitoramento
Processo relacionado	Diminuição da disponibilidade/aumento da demanda hídrica
Linha de Gestão 17: Impactos sobre disponibilidade hídrica subterrânea	
Tipo de Indicador	Impacto
Eixo de Gestão	Monitoramento
Processo relacionado	Diminuição da disponibilidade/aumento da demanda hídrica

Como já apresentado, através da modelagem do problema de gestão foi possível estabelecer os *Eixos de Gestão*. Dos 34 *Pontos Focais*, referentes aos processos e condições

ambientais, 17 foram considerados pertinentes e selecionados para compor as *Linhas de Gestão* como resultado da integração dos modelos.

6.7 Estabelecimento das questões de gestão

As *Linhas de Gestão* propostas, ainda que fechem o foco sobre os processos pertinentes identificando o tipo de indicador adequado e a modalidade de gestão (*Eixo de Gestão*) que deve ser atendida, não são suficientemente exatas para definir com precisão o que cada indicador terá que, realmente, “indicar”.

Desta maneira, se faz necessário outro procedimento metodológico para fechar ainda mais o foco de cada *Linha de Gestão*, no sentido de evidenciar qual é a informação principal, crucial ou imprescindível do ponto de vista da gestão que deverá ser respondida para satisfazer os pressupostos levantados pela modelagem do problema e de sua gestão.

Esse procedimento constitui outra forma de modelar o problema de gestão e esta sendo usado aqui para reduzir ainda mais a pertinência até estabelecer as questões-chave (adiante apresentadas) que são perguntas deliberadamente feitas para balizar a escolha dos indicadores quanto ao foco e objetivo precisos.

No âmbito do processo de planejamento ou gestão ambiental ou setorial, como apresentado na modelagem do problema de gestão, o gestor ou analista, aqui colocado como o usuário final do Sistema de Indicadores, representa a figura de um proponente de políticas de desenvolvimento setorial ou ordenamento territorial, do tomador de decisão na esfera do planejamento e gestão ambiental ou setorial, do planejador ou gestor ambiental ou setorial, dentre outros. Os questionamentos consequentemente feitos na esfera do planejamento e gestão servem como um fio condutor importante que pode ajudar a balizar a proposição de indicadores. No âmbito de um processo de gerenciamento ambiental ou setorial as perguntas podem fazer menção ao processo em curso de transformação da realidade ambiental a qual se deseja monitorar ou assumir as perspectivas de diagnóstico e/ou prognóstico da realidade ambiental em exame. Esta distinção se faz importante, pois, com base na realidade atual ou em cenários tendenciais, planejar significa se antecipar aos fatos para a proposição de ações condutoras e preventivas.

Desta forma, o analista ou gestor poderia, por meio de um questionamento lógico, se aproximar dos pontos cruciais para a montagem de um sistema de indicadores propositado

para responder as suas dúvidas que surgem durante o planejamento ou gestão do problema de seu interesse.

Com base em questões sugeridas por trabalhos técnicos ou científicos, ou colocadas por técnicos em contato pessoal, e, em boa medida, através de um exercício de imaginação e dúvidas do próprio autor, a seguir será apresentada uma compilação das principais perguntas que foram surgindo (*Braimstorn*) durante a elaboração do Sistema de Indicadores, propósito desta tese. As principais dúvidas consubstanciadas em perguntas foram:

- Quais são as áreas ocupadas com a cultura cana-de-açúcar?
- Quais são as áreas onde está ocorrendo a expansão da cultura cana-de-açúcar? Para onde está indo a expansão da cana-de-açúcar?
- A expansão da cultura cana-de-açúcar está ocorrendo a partir da substituição de que outras culturas agrícolas ou coberturas vegetais? Quais? Em que proporção? Quais são as atividades agropecuárias que estão ou serão prejudicadas ou perderão área de cultivo?
- Esta área tem sustentabilidade hídrica para a expansão da cultura cana-de-açúcar?
- Existe ou tem o potencial de haver conflito de uso de recursos hídricos com a expansão da cultura hídrica?
- Qual é a disponibilidade hídrica superficial para a cultura da cana-de-açúcar?
- Qual é a disponibilidade hídrica subsuperficial para a cultura da cana-de-açúcar?
- Qual é a disponibilidade hídrica superficial para a agroindústria sucroalcooleira?
- Qual é a disponibilidade hídrica subsuperficial para a agroindústria sucroalcooleira?
- Quais volumes demandados para as outorgas de uso da água? Quais os volumes já extraídos para atender a atividade canavieira já implantada?
- Quais são as áreas vulneráveis do ponto de vista hídrico em relação à expansão atual ou tendencial da cultura da cana-de-açúcar?
- Do ponto de vista hídrico. Esta área é sustentável? Aonde existem áreas sustentáveis? Qual é o grau relativo de sustentabilidade?
- Quais são as áreas com potencial para a expansão da cultura da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro. Ou seja, a indagação feita de outra forma seria. Quais as áreas que tem um regime hídrico adequado para a cultura da cana-de-açúcar?
- Quais são as áreas com potencial para a expansão da cultura da cana-de-açúcar com a aplicação de Irrigação? Quais são as áreas onde o uso da irrigação é obrigatório?

- Quais são os níveis de exigência dos regimes de irrigação? Irrigação de salvamento, suplementar ou plena?
- Qual é o risco de contaminação dos mananciais hídricos por causa dos efluentes (vinhaça) da agroindústria sucroalcooleira?

Muitas outras dúvidas e perguntas surgiram, naturalmente, durante o processo de “pensar” a estruturação do Sistema de Indicadores. Contudo, o que se pretendeu com a apresentação desta compilação de perguntas foi apenas evidenciar que o processo natural de questionamento que surgiria no confronto do problema real de gestão consiste, por interação lógica, num excelente balizador para focalizar e delimitar o propósito do Sistema de Indicadores que se pretende montar.

Sendo assim, o procedimento proposto a seguir consistiu em transformar para a forma interrogativa cada Linha de Gestão. Ou seja, consiste em estabelecer um sistema de perguntas e/ou indagações, do ponto de vista do gestor ou analista, que seja aderente às Linhas de Gestão que, por sua vez, foram determinadas pela convergência dos modelos conceituais DPSIR e *Impacto/Probabilidade*, utilizados para a modelagem do problema ambiental e o de gestão, respectivamente.

As perguntas partem de um questionamento lógico e livre, tendo como pano de fundo, a percepção do problema ambiental e o problema de gestão que consiste exatamente em obter as informações adequadas e corretas para avaliar a situação que se apresenta e monitorar a sua evolução.

Deste modo, considerando um espaço geográfico de interesse, territorial ou fisiográfico (bacia), tomado como Unidade Territorial de Análise (UTA). O Quadro 6 apresenta as questões feitas para cada *Linha de Gestão* proposta.

Quadro 6 - Linhas de Gestão e perguntas focalizadas. (continua)

LINHAS DE GESTÃO E PERGUNTAS FOCALIZADAS
Linha de Gestão 1: Pressão sobre o uso solo (espaço de produção) (IP)
<i>Está ocorrendo expansão da cultura da canaveira na UTA?</i>
<i>Qual a intensidade do processo de expansão da cultura canaveira na UTA?</i>
Linha de Gestão 2: Pressão sobre os remanescentes florestais/ biodiversidade (IP)
<i>Está ocorrendo expansão da cultura da canaveira na UTA?</i>
<i>Qual a intensidade do processo de expansão da cultura canaveira na UTA?</i>

Quadro 6 - Linhas de Gestão e perguntas focalizadas. (continuação)

LINHAS DE GESTÃO E PERGUNTAS FOCALIZADAS
Linha de Gestão 3: Pressão sobre os recursos hídricos de superfície (IP)
<i>Qual é o nível de utilização ou o grau de intensidade de uso dos recursos hídricos já instalados na UTA (bacia)?</i>
<i>Qual é o volume total das retiradas de água da bacia? Qual é o consumo de água na bacia?</i>
<i>Qual é a área total favorável ao cultivo da cultura canavieira na UTA considerada?</i>
<i>Qual é a área da UTA na qual à cultura canavieira depende obrigatoriamente de irrigação?</i>
<i>Qual é a área na UTA favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro?</i>
<i>Qual é o estado da cobertura vegetal natural remanescente na UTA (bacia) em apreciação?</i>
Linha de Gestão 4: Pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos (IP)
<i>Qual é o nível de utilização ou o grau de intensidade de uso dos recursos hídricos já instalados na UTA (bacia)?</i>
<i>Qual é o volume ou vazão total explorada?</i>
<i>Qual é o número de poços cadastrados?</i>
<i>Qual é a área da UTA na qual à cultura canavieira depende obrigatoriamente de irrigação?</i>
<i>Qual é a área na UTA favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro?</i>
<i>Qual é o estado da cobertura vegetal natural remanescente na UTA (bacia) em apreciação?</i>
Linha de Gestão 5: Uso e ocupação do solo / mudança de uso e ocupação do solo (IE)
<i>A cultura canavieira já ocorre na UTA?</i>
<i>Qual é a proporção de ocupação da cultura canavieira na UTA?</i>
<i>Quais são as culturas agrícolas que ocorrem na UTA?</i>
<i>Qual é a proporção de ocupação das culturas agrícolas na UTA?</i>
<i>Ocorrem áreas utilizadas com pastagens na UTA?</i>
<i>Qual é a proporção de ocupação das pastagens na UTA?</i>
<i>Qual é o perfil de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica?</i>
Linha de Gestão 6: Remanescente de vegetação nativa/supressão da vegetação (IE)
<i>Como está o estado (área; fragmentação) da cobertura vegetal natural remanescente da bacia?</i>
Linha de Gestão 7: Favorabilidade climática (IE)
<i>Qual é a área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro?</i>
<i>Qual é a área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação?</i>
<i>Qual é a área na qual à cultura canavieira depende obrigatoriamente de irrigação?</i>
Linha de Gestão 8: Favorabilidade Edáfica (IE)
<i>Qual é a área total favorável (apta) ao cultivo da cultura canavieira na UTA considerada?</i>

Quadro 6 - Linhas de Gestão e perguntas focalizadas. (continuação)

LINHAS DE GESTÃO E PERGUNTAS FOCALIZADAS
<p>Linha de Gestão 9: Adequação Topográfica (IE)</p> <p><i>Qual é a área total favorável (declividades adequadas) ao cultivo da cultura canavieira na UTA considerada?</i></p>
<p>Linha de Gestão 10: Oferta/disponibilidade hídrica superficial /alterações na disponibilidade / disponibilidade x demanda (IE)</p> <p><i>Qual é a quantidade de água disponível por alocação direta dos mananciais hídricos de superfície para o atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?</i></p> <p><i>Qual é a quantidade de água que pode ser reservada por acumulação prévia dos excedentes hídricos na bacia para atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?</i></p> <p><i>Qual é o grau de comprometimento dos recursos hídricos disponíveis (alocáveis) para atender a demanda hídrica da atividade canavieira na UTA considerada?</i></p> <p><i>Qual é o grau de comprometimento dos recursos hídricos disponíveis (regularizáveis) para atender a demanda hídrica da atividade canavieira na UTA considerada?</i></p> <p><i>Qual é o grau de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira com base na oferta hídrica disponível (alocável, regularizável)?</i></p> <p><i>Qual é a área máxima que a cultura canavieira pode expandir com pleno atendimento da demanda hídrica com base nos recursos alocáveis ou regularizáveis?</i></p>
<p>Linha de Gestão 11: Oferta/disponibilidade hídrica subterrânea / alterações na disponibilidade/ disponibilidade x demanda (IE)</p> <p><i>Qual é a quantidade de água disponível por alocação direta dos mananciais hídricos subterrâneos para o atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?</i></p> <p><i>Qual é o grau de comprometimento dos recursos hídricos disponíveis (explotáveis) para atender a demanda hídrica da atividade canavieira na UTA considerada?</i></p> <p><i>Qual é o grau de comprometimento dos recursos hídricos disponíveis (explotáveis) para atender a demanda hídrica da atividade canavieira na UTA considerada?</i></p> <p><i>Qual é o grau de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira com base na oferta hídrica disponível (explotáveis)?</i></p> <p><i>Qual é a área máxima que a cultura canavieira pode expandir com pleno atendimento da demanda hídrica com base nos recursos explotáveis?</i></p>
<p>Linha de Gestão 12: Susceptibilidade natural da bacia às alterações de uso do solo com impactos na produção de água (IE)</p> <p><i>Quais são as áreas susceptíveis da bacia com maior probabilidade de serem impactadas pela cultura canavieira?</i></p> <p><i>Qual a proporção de áreas consideradas susceptíveis às alterações de uso do solo com impactos na produção de água</i></p> <p><i>Qual a área máxima que a cultura canavieira poderá ocupar sem alterar a produção de água na bacia hidrográfica?</i></p>
<p>Linha de Gestão 13: Vulnerabilidade dos mananciais hídricos à contaminação por poluentes/efluentes agroindustriais. (IE)</p> <p><i>Qual é o risco de contaminação química dos recursos hídricos por causa da expansão da cultura canavieira?</i></p>

Quadro 6 - Linhas de Gestão e perguntas focalizadas. (conclusão)

LINHAS DE GESTÃO E PERGUNTAS FOCALIZADAS
<p>Linha de Gestão 14: Impactos sobre outras atividades agropecuárias (II)</p> <p><i>A expansão da cultura canavieira está substituindo outras culturas agrícolas?</i></p> <p><i>Qual é a intensidade do processo de substituição entre as culturas agrícolas?</i></p> <p><i>A expansão da cultura canavieira está substituindo as áreas com pastagens e/ou pecuária?</i></p> <p><i>Qual é a intensidade do processo de substituição entre as áreas com cana-de-açúcar e pastagens?</i></p>
<p>Linha de Gestão 16: Impactos sobre a disponibilidade hídrica superficial</p> <p><i>Qual é o grau de alteração (diminuição ou aumento) da produção de água na UTA (bacia) ?</i></p> <p><i>Qual é o grau de comprometimento dos recursos hídricos disponíveis (alocáveis) para atender a demanda hídrica da atividade canavieira na UTA considerada?</i></p> <p><i>Qual é o grau de comprometimento dos recursos hídricos disponíveis (regularizáveis) para atender a demanda hídrica da atividade canavieira na UTA considerada?</i></p>
<p>Linha de Gestão 17: Impactos sobre disponibilidade hídrica subterrânea</p> <p><i>Qual é o grau de alteração (diminuição ou aumento) da produção de água na UTA (bacia) ?</i></p> <p><i>Qual é o grau de comprometimento dos recursos hídricos disponíveis (explotáveis) para atender a demanda hídrica da atividade canavieira na UTA considerada?</i></p>

Nota: (i) IP – Indicador de Pressão; (ii) IE – Indicador de Estado; (iii) II – Indicador de Impacto.

Concluindo, neste ponto se obteve um conjunto de perguntas “*questões focalizadas*” que serão candidatas para compor uma lista ainda mais restrita, designada como “*questões-chave*” que posteriormente no final do processo serão apresentadas. Porém, para avançar nesta direção é preciso delimitar o escopo e estabelecer as premissas e especificações Sistema de Indicadores. Pois, o número exato de indicadores e as questões-chave relacionadas a serem determinados dependem da especificação completa do Sistema que se pretende montar.

6.8 Estabelecimento das premissas e especificações do sistema de indicadores

6.8.1 Definição do objetivo ou da aplicação do sistema de indicadores

O objetivo da aplicação do Sistema de Indicadores já pode ser estabelecido de forma definida, com base na modelagem da problemática ambiental e de sua gestão. O objetivo da aplicação constitui, naturalmente, a primeira premissa fundamental do Sistema em elaboração. Deste modo o objetivo da aplicação do Sistema pode dessa forma ser definido:

- **Objetivo da aplicação do Sistema de Indicadores:** O objetivo é avaliar o potencial de desenvolvimento e sustentabilidade hídrica da atividade canavieira e monitorar o processo de expansão da cultura da cana-de-açúcar.

Com base no objetivo definido e explicitado, pode-se no momento, nomear o sistema de indicadores objeto deste trabalho, ficando assim estabelecido:

- **Nome do Sistema:** “Sistema de Indicadores para a Avaliação da Expansão e do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira”
- **Sigla:** SISH-Cana .

6.8.2 Especificação e delimitação do sistema de indicadores quanto ao nível de gestão

A partir deste ponto, se faz necessário delimitar o Sistema de Indicadores com base em outras prerrogativas relacionadas ao nível de gestão ao qual o Sistema deverá atender.

O *Nível de Gestão* a ser adotado determinará o nível de agregação da informação que cada indicador deverá apresentar. Portanto, se torna imprescindível o estabelecimento adequado do *Nível de Gestão* com base na escala (espaço-temporal) de intervenção pretendida. Com efeito, a modelagem ambiental do problema ensejado pela tendência de expansão da atividade canavieira sobre o bioma Cerrado na Região Centro-Oeste do país, permite antever, ainda que de maneira localizada em focos, que a expressão geográfica do problema abrange uma extensão em escala regional com uma temporalidade de um ciclo de média a longa duração.

Por este motivo, optou-se no momento por elaborar um Sistema de Indicadores para atender, de forma independente, a dois níveis gerais de planejamento e gestão aqui propostos como: Nível Estratégico e Nível Tático.

6.8.2.1 Fundamentação teórica

Primeiramente, cabe o esclarecimento que, o conceito dos níveis de planejamento e gestão – *Nível Estratégico, Nível Tático e Nível Operacional* - surgiu no campo de conhecimento da Administração Empresarial. Na metade dos anos 60 foi introduzida a

metodologia do Planejamento Estratégico mediante proposições de pesquisadores do *Stanford Research Institute* liderados pelo Prof. Igor Ansoff e os consultores da *McKinsey Consulting Co.* (TAYLOR, 1975). Inúmeros trabalhos tratam do assunto, porém, não constitui uma intenção desta tese ir mais fundo nesta direção. Apenas, cabe a menção de que os termos e a noção que carregam têm sido, cada vez mais, aplicados no campo do Planejamento e Gestão Ambiental, quer seja no âmbito das Empresas públicas ou privadas, como também, das Agências Setoriais e Órgãos de Governo.

Para elucidar o significado desses termos, aqui tomados como empréstimo, em senso estrito para atender aos propósitos específicos deste trabalho, cabe traçar algumas considerações conceituais sobre os níveis de planejamento e gestão assim colocados. As conceituações apresentadas serão, sempre que possível, adaptadas estritamente às situações do campo do planejamento ambiental, em termos gerais, apenas para a melhor apreensão da noção que os conceitos tentam transmitir.

A palavra “planejar”, segundo Alday (2010), é apropriada para designar um conjunto de ações orientadas para atingir um resultado claramente definido, quando se tem plena certeza das conseqüências prática das ações e amplo controle dos fatores que asseguram o sucesso no alcance dos resultados. Apreciando este conceito é fácil concluir que no campo do planejamento ambiental a “certeza das conseqüências” e “amplo controle dos fatores” é algo que tange a utopia, portanto, parece mais adequado adotar a definição proposta por Drucker (1977) que define Planejamento Estratégico como um processo contínuo, sistemático, organizado e capaz de prever o futuro, de maneira a tomar decisões que minimizem os riscos inerentes.

A concepção estratégica no âmbito do planejamento ambiental compreende a realidade em permanente mudança, resultado do desenvolvimento dos conflitos entre a sociedade e o meio ambiente natural. Planejamento ambiental estratégico pode ser entendido, então, como um processo gerencial que possibilita ao gestor, em nível hierárquico elevado, a estabelecer o rumo ou as diretrizes gerais para a tomada de decisão ou deliberação de ações visando à resolução de um problema ambiental de interesse em pauta para exame. Desta forma, consiste em um conjunto de tomada deliberada e sistemática de decisões e ações implementadas e contempladas em longo prazo, exigindo um nível de informação mais agregada e geral com um número mais restrito de indicadores. Fischmann e Almeida, (1990), chamam a atenção para o fato de que o processo de planejamento ambiental estratégico consiste, tão simplesmente, em um processo de elaborar uma estratégia baseada na análise ambiental.

Conceituam ainda, os autores, a gestão estratégica como sendo o processo que compreende o planejamento, implementação e controle da execução da estratégia.

Por sua vez, o planejamento ambiental no nível tático, consiste em geral em um desdobramento do planejamento estratégico em vários planejamentos de menor abrangência, todavia com maior intensidade e especificidade visando estabelecer, com maior clareza, um conjunto de ações para atingir a objetivos mais bem delineados, mas, ainda afeitos ao nível de gestão. Por esta razão necessita de um nível de informação mais específica, diversificada e menos agregada admitindo por isso um número mais extenso de indicadores. Normalmente, a análise tática se destina aos técnicos analistas integrantes do nível intermediário da gestão pública. Desta forma, o planejamento tático faz a interpretação das decisões estratégicas em planos concretos, absorvendo as incertezas, estabelecendo quais são objetivos importantes e antecipando o que deve ser feito e alcançado pelo nível operacional. O planejamento, no nível tático, é utilizado para traduzir os objetivos gerais e as estratégias da alta gerência em objetivos e atividades mais específicos. (BATEMAN,1998).

O *Nível Operacional* não faz parte da abordagem do trabalho proposto por esta tese, contudo apenas para complementar a informação, constitui no conseqüente desdobramento dos planos táticos em planos operacionais preocupados com a execução das ações planejadas.

6.8.2.2 Estabelecimento dos níveis de gestão do sistema de indicadores

Os dois níveis de gestão estabelecidos como prioritários e determinantes da concepção funcional e estruturação organizacional do Sistema de indicadores, são:

- ***Nível Estratégico:*** Para atender o *Nível Estratégico* de gestão o Sistema de Indicadores em elaboração, deve apresentar um conjunto de indicadores apropriados para fornecer ao analista do nível estratégico uma visão geral sobre a situação e o potencial de uma determinada unidade territorial de análise de interesse para o desenvolvimento da atividade canavieira com base na sustentabilidade hídrica. O sistema deve não somente orientar o analista do nível estratégico a traçar diretrizes de planejamento e ordenamento territorial, mas também, provê-lo de indicadores para o monitoramento da expansão da atividade canavieira em curso na mesma unidade ambiental de análise.

- **Nível Tático:** Para o *Nível Tático* o Sistema de Indicadores deve incorporar um conjunto de indicadores apropriados para fornecer ao analista do nível tático uma visão geral sobre a situação de disponibilidade e uso da água em uma determinada bacia hidrográfica e, a partir desta, avaliar o potencial de desenvolvimento sustentável da atividade canavieira considerando o atendimento da demanda hídrica projetada e os conseqüentes ou prováveis impactos sobre os recursos hídricos. O sistema de indicadores, não somente, orienta o analista do nível tático a traçar diretrizes de planejamento ambiental ou setorial (agrícola; recursos hídricos) com base na avaliação do potencial e restrições dos recursos hídricos face à expansão potencial ou real da atividade canavieira, como também, fornece indicadores para o monitoramento da situação em auxílio à gestão ambiental da bacia hidrográfica.

6.9 Determinação da dimensão espaço-temporal do sistema de indicadores

6.9.1 Justificativa e objetivo.

A determinação das dimensões, espacial e temporal, constitui uma das premissas mais importantes para a escolha dos indicadores e a montagem de um sistema de indicadores. Trata-se de estabelecer uma base conceitual para delimitar a espacialidade e atemporalidade dos indicadores. De outra forma. *Qual o espaço geográfico que os indicadores fazem referência? Qual o período de tempo que os indicadores operam?*

Em termos práticos, significa estabelecer um critério para a espacialização dos indicadores que atenda aos pressupostos dos eixos e dos níveis de gestão em concordância com a escala de observação dos processos e condições ambientais que foram modelados e consubstanciados em linhas prioritárias de gestão ambiental.

6.9.2 Espacialidade do sistema de indicadores - Unidades Territoriais de Análise

Tendo sido estabelecidos como nível de gestão do Sistema de Indicadores, os níveis estratégico e tático, se faz necessário, no momento, estabelecer para cada um deles a escala

espacial de observação do fenômeno em exame com implicação direta na escolha dos indicadores mais adequados para atender a cada nível de gestão estabelecido. Assim, o estabelecimento de uma unidade espacial de observação ideal ou mais adequada para cada nível de gestão passa necessariamente por duas perspectivas a serem consideradas.

A primeira perspectiva a ser considerada diz respeito ao conceito de “espaço geográfico”, enquanto uma categoria de análise para os fenômenos que a este fazem referência.

Sem pretender discutir as implicações epistemológicas do próprio conceito de espaço geográfico e das limitações das suas representações, considerando as diversas abordagens e modelos do espaço real propostos pelas diversas escolas de geografia, no momento, vale trazer, como referencial teórico os postulados daquela que mais se adapta ao presente caso.

No caso presente, uma visão apropriada seria a fornecida pela “Geografia Idiográfica”. Segundo Hartshorne (1936) citado por Câmara *et. al* (2000), nesta escola a base teórica para os estudos geográficos se fundamenta no conceito de “unidade”. Ou seja, o espaço geográfico é visto como único no qual ocorrem diversos fenômenos que, segundo o interesse do pesquisador, podem ser examinados individualmente ou o conjunto de diversos fenômenos relacionados. O conceito inerente a esta abordagem do real é que o espaço geográfico se resume às “unidades espaciais” no sentido de “unidades de áreas” para usar a expressão do próprio autor. Há, portanto a idéia implícita de partição ou fragmentação do espaço geográfico, pois, o método se baseia na segmentação do espaço geográfico em partes únicas, com base nas variáveis escolhidas para descrevê-las. Assim, as unidades espaciais podem assumir qualidades várias a partir das disciplinas das quais se derivam as variáveis descritivas. Contudo, a “Geografia Idiográfica” não se restringe, necessariamente, à uma abordagem disciplinar se prestando, inclusive, para a integração de vários temas afeitos a diversas disciplinas, sendo, portanto, uma abordagem favorável aos estudos multidisciplinares. De fato, como argumenta o próprio Hartshorne, o caráter de cada área em particular é dado exatamente pela integração das diferentes variáveis geográficas, tomadas em conjunto. Trata-se de uma abordagem adequada para descrever a organização estrutural das paisagens, sobretudo, para integrar variáveis fisiográficas, de natureza físico-biótica, ou variáveis socioeconômicas objetivas e georreferenciadas. Sendo assim, no que diz respeito à distribuição espacial dos diferentes tipos de uso do solo e coberturas vegetais nativas e suas relações com outras variáveis como, o tipo de solos, relevo ou clima, a abordagem da “unidade-área” não é uma representação geográfica por demais restritiva. Razão pela qual este trabalho a adotou como referencial teórico.

A segunda perspectiva para a determinação das unidades geográficas ou espaciais de integração das informações se relaciona à aplicação prática do Sistema de Indicadores. Desta forma, para o nível estratégico, o Sistema em apreço tem que necessariamente contemplar a lógica da gestão pública que, por uma questão legal, está atrelada as unidades de caráter político-administrativas. Sendo assim, as unidades espaciais para a integração das informações e exame do tema/problema especificado, designadas aqui como *Unidades Territoriais de Análise* (UTA), correspondem, em uma sequência de escalas decrescentes, aos: distritos municipais, municípios, microrregiões, mesorregiões, estados, regiões etc. Vale dizer que outras divisões adotadas, particularmente no âmbito da gestão pública de alguns estados também podem ser contempladas, como as Regiões de Planejamento do Estado de Goiás. Além disso, o Sistema de Indicadores aplicado ao nível estratégico também pode ser adotado para avaliar unidades de análise de caráter fisiográfico como: bacias hidrográficas, biomas, zonas especiais, etc.

Para o nível tático, contudo, o Sistema de Indicadores, por fazer uso de indicadores hidrológicos tomados sob a lógica das bacias hidrográficas, não apresenta a mesma flexibilidade se restringindo a análise de unidades territoriais como: as bacias hidrográficas, seções de bacias a montante dos pontos monitorados de referência ou Unidades de Gestão Integrada de Recursos Hídricos.

O Quadro 7 apresenta os tipos admitidos de Unidades Territoriais de Análise (UTAs) por nível de gestão

Quadro 7 - Unidades Territoriais de Análise (UTAs) por nível de gestão.

NÍVEIS DE GESTÃO	UNIDADES TERRITORIAIS DE ANÁLISE (UTAS)	
	Categoria	Descrição
Estratégico	Político-administrativas	<i>Distritos municipais, municípios, microrregiões, mesorregiões, estados, regiões, regiões especiais de planejamento.</i>
	Fisiográficas	<i>Bacias hidrográficas; Seções de bacias; Unidades de Planejamento dos RH; Zonas especiais, Biomas, etc</i>
Tático	Hidrográficas	<i>Bacias hidrográficas; Seções de bacias; Unidades de Planejamento dos RH</i>

6.9.3 Temporalidade do sistema de indicadores - periodicidade de análise

Em relação à periodicidade o Sistema trabalha com uma unidade de tempo mínima de um ano-agrícola ou ano civil. Cabe esclarecer que para os módulos cujos indicadores são empregados com o propósito de monitoramento a periodicidade pode ser anual, bianual trianual conforme os objetivos da análise. Para os módulos cujos indicadores são empregados para realizar uma avaliação prognóstica os períodos podem ser mais dilatados dependendo do objeto da análise. Para os módulos de indicadores que realizam avaliações diagnósticas a temporalidade não se aplica visto tratar-se de fenômenos cuja variação significativa opera na escala geológica ou superior a perspectiva histórica em ordem secular.

6.9.4 Estabelecimento dos Eixos de Gestão do sistema de indicadores

Os Eixos de Gestão foram determinados no item que tratou da modelagem do tema/problema de gestão cujos conceitualização já foi devidamente apresentada. No momento, apresenta-se os Eixos de Gestão como uma das premissas deste trabalho pois como será visto mais adiante possuem valor prático para a concepção funcional e estruturação organizacional do Sistema de indicadores ora em montagem. Cabe notar que os Eixos de Gestão já incorporam algumas linhas gerais de gestão. Desta forma os seguintes Eixos de Gestão são estabelecidos:

- ***Eixo de Gestão 1:*** Planejamento ambiental e/ou setorial: avaliação do potencial da UTA para o desenvolvimento da atividade canavieira com base no diagnóstico da vulnerabilidade dos mananciais hídricos, da disponibilidade hídrica, adequação topográfica e da favorabilidade edafoclimática;
- ***Eixo de Gestão 2:*** Planejamento ambiental e/ou setorial: avaliação do potencial da UTA para o desenvolvimento da atividade canavieira através do prognóstico da sustentabilidade hídrica com base nas restrições da disponibilidade hídrica contraposta à demanda hídrica da atividade canavieira;
- ***Eixo de Gestão 3:*** Monitoramento ambiental e/ou setorial: Monitoramento de média frequência e intensidade e avaliação do processo de expansão da cultura canavieira, considerando as pressões exercidas sobre outras atividades agropecuárias, sobre os remanescentes de vegetação nativa, a adequação do processo de expansão e os limites de sustentabilidade hídrica.

6.9.5 Delimitação temática, área de conhecimento e setor de aplicação do sistema de indicadores

Este item trata das premissas que dizem respeito ao domínio de conhecimento do Sistema de Indicadores. Vale dizer, se o Sistema de Indicadores será temático, qual ou quais os campos de conhecimento técnico científicos que ele abarca e qual ou quais os setores de aplicação a que se destina. Essa distinção é importante para focar a busca e selecionar adequadamente os indicadores orientados por essas vertentes.

Contudo, como ponto de partida a definição do problema e a sua modelagem conceitual e como não é possível fragmentar a questão ambiental em toda a sua complexidade em uma visão disciplinar estabeleceu-se desde o início que o sistema não precisava ter um campo de conhecimento definido, uma única disciplina ou ser orientado a um setor específico.

Quanto ao domínio de conhecimento do sistema de indicadores ora proposto, apesar de ter um foco objetivo, ou seja, foi concebido para a resolução de um problema específico e bem determinado, não é, em absoluto, disciplinar e nem tampouco temático ou setorial em sentido estrito. Quer dizer que não é exclusivamente alinhado a apenas uma temática. Desta forma pertencem a vários campos de conhecimento como agricultura; recursos hídricos, sustentabilidade ambiental, dentre outros. Do ponto de vista da aplicação o Sistema de Indicadores se alinha aos setores da gestão pública da agricultura e dos recursos hídricos, e, de uma forma geral ao setor do meio ambiente.

No presente caso, pode-se considerar que o Sistema em elaboração se alinha de uma forma geral às ciências ambientais e à engenharia agrônômica ou agrícola. Mas especificamente, como ciências ambientais, pode-se destacar, os campos de conhecimento da Hidrologia e Hidrogeologia Aplicadas, da Agroclimatologia e Agrometeorologia, da Pedologia e Edafologia, da Fitotecnia e Engenharia Agrícola, como sendo os mais importantes e relacionados com o tema e o problema explicitados. Outras áreas de conhecimento como Uso e /ou Mudanças de Uso e Cobertura do solo tem ultimamente ganhado o *status* de um campo delimitado do saber científico e, se assim o for, também se relaciona com os indicadores do Sistema em elaboração.

Explicando de outra forma, o foco do sistema de indicadores defendido nesta tese é o problema ambiental definido: sustentabilidade hídrica da cultura da cana-de-açúcar, e, como era de se esperar, foi imperativo transcender a disciplinaridade e buscar subsídios técnico-científicos em várias disciplinas. Constitui, portanto um sistema de indicadores específico e

interdisciplinar orientado a diversos estudos temáticos e cuja aplicação pode atender aos interesses de diferentes setores: agricultura, meio ambiente, recursos hídricos; desenvolvimento industrial.

Por essas razões o campo de conhecimento do Sistema de Indicadores assume o caráter multidisciplinar com aplicação técnica para as engenharias e áreas ambientais ou setoriais, notadamente o setor dos recursos hídricos. E os principais temas são agricultura e recursos hídricos.

- **Área de conhecimento:** A área de conhecimento multidisciplinar;
- **Delimitação temática:** Agricultura e recursos hídricos;
- **Setores de aplicação:** Engenharias, Agricultura, Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

6.9.6 Determinação do perfil dos usuários

O perfil dos usuários do sistema é de certa forma uma consequência dos níveis de gestão estabelecidos. A questão de definir um perfil passa também pelo campo temático de interesse ou atuação setorial.

A importância de se definir o perfil dos usuários do futuro Sistema de Indicadores reside em algumas prerrogativas. Assim, o perfil de usuários do Sistema é importante para definir o foco temático, o grau de agregação da informação e o grau de flexibilidade que o Sistema deve ter para atender aos diferentes níveis de gestão e interesses dos usuários.

No presente caso, observa-se que, independentemente, dos dois níveis de gestão explicitados (estratégico, tático), áreas temáticas a que pertencem, pode-se a princípio distinguir duas categorias nítidas de usuários do Sistema de Indicadores SISHM-Cana. O primeiro se refere a um usuário com perfil técnico, constituindo-se em um analista que usaria o Sistema para realizar as análises de seu interesse com base na sua área de conhecimento e/ou setor de atuação. Esse tipo de usuário, a partir do domínio conceitual de cada indicador, teria a capacidade de estabelecer os seus próprios níveis críticos conforme o seu *expertise* sobre o tema de seu conhecimento. Esse tipo de usuário requer um sistema mais flexível do ponto de vista da funcionalidade com possibilidades de múltiplas aplicações. Por outro lado, o segundo perfil de usuário do sistema é caracterizado pelos tomadores de decisão político-gerenciais em nível hierárquico de comando dos diversos setores e áreas de atuação. Para

este tipo de usuário, interessa que o sistema seja capaz que fornecer a informação correta, concisa, sintética e de modo inteligível.

Feitas essas considerações o Sistema SISH-Cana , objetivando atender aos dois principais tipos de usuário, assume as seguintes premissas:

- **Perfil de usuário 1:** Técnico analista;
- **Perfil de usuário 2:** Tomador de decisão gerencial

6.9.7 Determinação da flexibilidade e funcionalidade do sistema de indicadores.

A flexibilidade de um sistema de indicadores diz respeito a sua capacidade possibilitar a realização de múltiplas modalidades de análises/avaliações, aplicações, atendendo a múltiplos usuários. Ou seja, mesmo que o sistema tenha um foco de aplicação (temático, níveis de gestão, etc) ele pode atender a múltiplos tipos de análise dentro dessas esferas. Em síntese um sistema flexível é um sistema multifuncional que atende a diferentes tipos de usuários.

Considerando o exposto o SISH-Cana , pretende agregar a seguinte especificação:

- **Flexibilidade:** 2 níveis de gestão; 2 perfis de usuários; capacidade de análise e aplicação multifuncional.

6.10 **Concepção funcional e estruturação organizacional do sistema de indicadores**

A concepção funcional do sistema diz respeito a como o Sistema vai “funcionar”, ou seja, como as diferentes partes e indicadores se relacionam e se articulam para formar um todo integrado com base nas premissas e especificações estabelecidas como referência para atingir os propósitos explicitados. A estruturação organizacional, por sua vez, trata da organização das partes componentes estabelecendo uma ordem hierárquica ou não para garantir a funcionalidade do Sistema considerado.

O Sistema de Indicadores SISH-Cana , para garantir uma funcionalidade em níveis hierarquizados, será organizado a partir da estruturação de compartimentos que expressam a

mesma hierarquia funcional e que representam grupamentos ou subconjuntos de indicadores orientados a uma mesma função ou foco de aplicação dentro de cada nível considerado. Os compartimentos são: (i) Partes; (ii) Módulos; (iii) Blocos (iv) Grupos; (v) Posição, e podem ser assim descritos e caracterizados:

- **PARTES:** Correspondem a dois subsistemas independentes, agrupando os indicadores por nível de gestão (Nível Estratégico e Nível Tático);
- **MÓDULOS:** Correspondem grupamentos que reúnem os indicadores por Eixo de Gestão;
- **BLOCOS:** Correspondem grupamentos que separam os indicadores do mesmo Eixo de Gestão por alguma categoria explícita;
- **GRUPOS:** Correspondem subgrupamentos que separam os indicadores por temas ou funções similares;
- **POSIÇÃO:** Corresponde ao posicionamento de cada indicador individualmente dentro da estrutura hierarquizada.

Assim sendo, o SISH-Cana possui a seguinte estrutura organizacional e funcional apresentada no Quadro 8.

Quadro 8 - Estrutura organizacional do Sistema de Indicadores SISH-Cana. (continua)

SISH-CANA	SISTEMA DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO E POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA
PARTE 1 Nível Estratégico	
Módulo A	Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira
	<i>Grupo 1 Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira</i>
	<i>Grupo 5 Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira;</i>
	<i>Grupo 6 Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira.</i>
	<i>Grupo 3 Indicadores da vulnerabilidade dos mananciais hídricos e da susceptibilidade da produção hídrica da bacia</i>
Módulo B	Avaliação do Processo de Expansão da Cultura Canavieira
	<i>Grupo 7 Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira</i>

Quadro 8 - Estrutura organizacional do Sistema de Indicadores SISH-Cana. (conclusão)

SISH-CANA	SISTEMA DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO E POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA
<i>Grupo 8</i>	<i>Indicadores de substituição de atividades agropecuárias e supressão da vegetação nativa pela cultura canavieira</i>
<i>Grupo 9</i>	<i>Indicadores da adequabilidade do processo de expansão da cultura canavieira</i>
<i>Grupo 10</i>	<i>Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.</i>
PARTE 2 Nível Tático	
Módulo A	Avaliação do Potencial da Bacia Hidrográfica para o Desenvolvimento da Atividade Canavieira
<i>Grupo 2</i>	<i>Indicadores do estágio de desenvolvimento socioeconômico e antropização das bacias hidrográficas;</i>
<i>Grupo 3</i>	<i>Indicadores da vulnerabilidade dos mananciais hídricos e da susceptibilidade da produção hídrica da bacia;</i>
<i>Grupo 4</i>	<i>Indicadores da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira;</i>
Módulo B	Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira
Bloco 1	Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória
<i>Grupo 1</i>	<i>Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira</i>
<i>Grupo 5</i>	<i>Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira;</i>
<i>Grupo 6</i>	<i>Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira.</i>
Bloco 2	Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro
<i>Grupo 1</i>	<i>Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira</i>
<i>Grupo 5</i>	<i>Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira;</i>
<i>Grupo 6</i>	<i>Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira.</i>
Módulo C	Avaliação do Processo de Expansão da Cultura Canavieira
<i>Grupo 7</i>	<i>Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira</i>
<i>Grupo 8</i>	<i>Indicadores de substituição de atividades agropecuárias e supressão da vegetação nativa pela cultura canavieira</i>
<i>Grupo 9</i>	<i>Indicadores da adequabilidade do processo de expansão da cultura canavieira</i>
<i>Grupo 10</i>	<i>Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.</i>

A Figura 8 apresenta o esquema geral da estrutura do Sistema de Indicadores para a Avaliação do Processo de Expansão e Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira.

6.11 Estabelecimento das questões-chave

Como visto anteriormente do conjunto selecionado de perguntas focadas em cada processo e condição ambiental (Pontos Focais) a seguir apresenta-se a lista das que foram escolhidas para compor as *questões-chaves* que são utilizadas como a referência principal para a escolha dos indicadores em termos de objetivo. Cabe observar que, normalmente, a cada pergunta corresponde um indicador. Porém em alguns casos são colocadas duas *questões-chave* para balizar a escolha de um único indicador que, então, busca responder as duas *questões-chave* colocadas.

O Sistema de Indicadores SISH-Cana é composto de 48 indicadores baseados em 30 *questões-chave*. Esta diferença ocorre porque alguns indicadores, conceitualmente iguais, mas, adaptados as diferentes modalidades, são repetidos na estrutura funcional do Sistema, pois são: (i) aplicados para os dois níveis de gestão (Nível Estratégico e Nível Tático); ou (ii) figuram no mesmo Módulo em Blocos diferentes (Módulo 1B BL 1 e BL 2)

A seguinte lista apresenta as de *questões-chave* selecionadas:

- **Questão-chave 1:** *Qual é a área total favorável ao cultivo da cultura canavieira na UTA considerada?*
- **Questão-chave 2:** *Qual é a área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro?*
- **Questão-chave 3:** *Qual é a área na qual a cultura canavieira depende obrigatoriamente de irrigação?*
- **Questão-chave 4:** *Qual é a área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação?*
- **Questão-chave 5:** *Qual é o perfil de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica?*
- **Questão-chave 6:** *Qual é o grau de alteração ou “antropização” da bacia hidrográfica?*
- **Questão-chave 7:** *Qual é o estágio de desenvolvimento socioeconômico da bacia hidrográfica?*

- **Questão-chave 8:** *Qual é o estado da cobertura vegetal natural remanescente da bacia em apreciação?*
- **Questão-chave 9:** *Qual é o nível de utilização ou o grau de intensidade de uso dos recursos hídricos já instalados na bacia?*
- **Questão-chave 10:** *Qual é o risco de contaminação dos recursos hídricos por causa da expansão da cultura canavieira?*
- **Questão-chave 11:** *Qual a área máxima que a cultura canavieira poderá ocupar sem alterar a produção de água na bacia hidrográfica?*
- **Questão-chave 12:** *Qual é a quantidade de água disponível por alocação direta dos mananciais hídricos de superfície para o atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?*
- **Questão-chave 13:** *Qual é a quantidade de água que pode ser reservada por acumulação prévia dos excedentes hídricos na bacia para atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?*
- **Questão-chave 14:** *Qual é a quantidade de água disponível dos mananciais hídricos subterrâneos para atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?*
- **Questão-chave 15:** *Qual é o grau de comprometimento dos recursos hídricos disponíveis (geral, alocável, regularizável, explotável) para atender a demanda hídrica da atividade canavieira na UTA considerada?*
- **Questão-chave 16:** *Qual é o grau de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira com base na oferta hídrica disponível?*
- **Questão-chave 17:** *Qual é a área máxima que a cultura canavieira pode expandir com pleno atendimento da demanda hídrica?*
- **Questão-chave 18:** *A cultura canavieira já ocorre na UTA?*
- **Questão-chave 19:** *Qual é a proporção de ocupação da cultura canavieira na UTA?*
- **Questão-chave 20:** *Está ocorrendo expansão da cultura da canavieira na UTA?*
- **Questão-chave 21:** *Qual a intensidade do processo de expansão da cultura canavieira na UTA?*
- **Questão-chave 22:** *A expansão da cultura canavieira está substituindo outras culturas agrícolas?*
- **Questão-chave 23:** *Qual é a intensidade do processo de substituição entre as culturas agrícolas?*
- **Questão-chave 24:** *A expansão da cultura canavieira está substituindo as áreas com pastagens e/ou pecuária?*

- **Questão-chave 25:** *Qual é a intensidade do processo de substituição entre as áreas com cana-de-açúcar e pastagens?*
- **Questão-chave 26:** *A expansão da cultura canavieira está causando desmatamento?*
- **Questão-chave 27:** *Qual é a intensidade do processo de desmatamento por causa da expansão da cultura canavieira?*
- **Questão-chave 28:** *A expansão da cultura canavieira está ocorrendo sobre áreas adequadas ou tecnicamente recomendadas?*
- **Questão-chave 29:** *Quanto à área ocupada pela cultura canavieira se encontra próxima da área máxima de expansão sustentada, considerando a quantidade de água disponível?*
- **Questão-chave 30:** *Quanto à cultura canavieira ainda poderá expandir na UTA até atingir o limiar de insustentabilidade hídrica?*

6.12 Estabelecimento de critérios de seleção de indicadores

Por fim, ainda falta estabelecer os demais critérios por meio dos quais será realizada a seleção dos indicadores para compor o SISH-Cana.

As *questões-chave*, anteriormente, tratadas constituem o primeiro e primordial critério, pois, elas fixam o objetivo e o significado de cada indicador. Se o indicador não responder a questão-chave colocada o mesmo não tem *relevância* para o quesito especificado.

Contudo, existem diversas propriedades qualitativas que são importantes e desejáveis e, portanto, se apresentam como critérios extras que podem ser usado para cotejar e selecionar os indicadores de um sistema.

Além das propriedades qualitativas, conforme necessidades específicas, se pode estabelecer outros critérios, baseados em requisitos que os indicadores justificadamente devam apresentar. Assim o Quadro 9 apresenta o sumário das propriedades e requisitos adotados para a seleção e proposição de indicadores do SISH-Cana .

6.12.1 Tipologia e classificação

Para estabelecer a classificação dos indicadores utilizou-se uma estrutura conceitual proposta por Bakkes et al. (1994) denominada pelo autor de modelo tridimensional, pois, admite de três classificações simultâneas. A primeira se baseia nos propósitos de uso dos indicadores que no caso presente é relacionado aos grupos temáticos/funcionais já propostos. A segunda classificação se baseia por tema em termos de área de conhecimento ou expresso por algum compartimento do ambiente como água, solo, etc. E, a terceira na cadeia de causa e efeito e que no caso já tinha sido adotado o método DPSIR.

A classificação dos indicadores com base no modelo tridimensional foi usada para estabelecer de uma forma geral os tipos de indicadores mais adequados. As classes temáticas, entretanto, não foram usadas como critério de seleção. As classes de DPSIR serviram para estabelecer a relação de causa e efeito para checar se o indicador escolhido estava de acordo esta perspectiva. O “propósito”, entre as classificações foi o único critério efetivo para a seleção no caso da modelagem tridimensional.

6.12.2 Propriedades qualitativas

Quanto às propriedades qualitativas, todas foram usadas como critério de seleção, adotando-se inclusive uma ordem decrescente de prevaência ou importância. A seguir será feito um ligeiro comentário da importância de cada uma delas dentro da estrutura do SISH-CANA

- **1ª Relevância:** Esta propriedade é a mais importante, visto que, constitui a razão de ser do próprio indicador. Um indicador não relevante tem a sua aplicabilidade comprometida. Do caso presente a relevância pode ser “medida” pela capacidade do indicador em responder a questão-chave que lhe compete;
- **2ª Base Conceitual e Validade Científica:** Constitui uma propriedade importantíssima para que se possa considerar seriamente a aplicação do indicador. A base conceitual da formalização do indicador e a validade científica dos métodos que determinam os parâmetros para a determinação dos indicadores e de essencial importância para todo Sistema de Indicadores;
- **3ª Suficiência:** Constitui uma propriedade muito prezada no Sistema SISH-Cana , visto que, a concepção funcional do Sistema pressupõe que cada indicador “dê conta” da sua questão-chave, de modo que a integração das informações de todos os

indicadores de forma articulada por grupamentos possa formar uma noção abrangente sobre a realidade em exame;

- **4ª Sensibilidade:** Constitui uma propriedade muito importante para captar as mudanças de estado e pressão e no geral discriminar as UTAs avaliadas;
- **5ª Inteligibilidade/Comunicabilidade:** Constitui uma propriedade muito prezada no Sistema SISH-Cana para que o Sistema possa ter uma universalidade e aceitação entre usuários técnicos e não técnicos. Neste sentido procurou-se estabelecer uma nomenclatura que pudesse comunicar corretamente o conteúdo do indicador de forma fácil, intuitiva e inteligível, evitando o hermetismo da nomenclatura técnico-científica ma sem perder o suficiente rigor

6.12.3 Nível de agregação da informação e intervalo de variação

Considerando os níveis de gestão e o perfil dos usuários, dentre outros requisitos, foi estabelecido propor indicadores com um nível relativamente alto de agregação da informação. Neste sentido, foram estabelecidos indicadores agregados na forma de *índices* (quocientes matemáticos) adimensionais, normalizados em um escala no intervalo [0,1] em módulo. Cabe, esclarecer, contudo, que os índices tem expressão física e a adimensionalidade se explica pelo fato de que todos os indicadores terem sido definidos como razões entre grandezas de unidades idênticas. O Quadro 9 apresenta os Critérios de seleção de indicadores do SISH-Cana.

Quadro 9 - Critérios de seleção de indicadores do SISH-Cana (continua)

TIPOLOGIA CLASSIFICAÇÃO	DPSIR	Pressão
		Estado
		Impacto
	PROPÓSITO	Grupo 1 Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira
		Grupo 2 Indicadores do estágio de desenvolvimento socioeconômico e antropização das bacias hidrográficas;
		Grupo 3 Indicadores da vulnerabilidade dos mananciais hídricos e da susceptibilidade da produção hídrica da bacia;
		Grupo 4 Indicadores da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira;

Quadro 9 - Critérios de seleção de indicadores do SISH-Cana (conclusão)

PROPÓSITO	Grupo 5 Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira;
	Grupo 6 Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira.
	Grupo 7 Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira
	Grupo 8 Indicadores de substituição de atividades agropecuárias e supressão da vegetação nativa pela cultura canavieira
	Grupo 9 Indicadores da adequabilidade do processo de expansão da cultura canavieira
	Grupo 10 Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.
TEMA	Hidrologia; Agroclimatologia; Outros.
PROPRIEDADES QUALITATIVAS	1ª Relevância (questão-chave)
	2ª Base Conceitual e Validade Científica
	3ª Suficiência
	4ª Sensibilidade
	5ª Inteligibilidade/Comunicabilidade
NÍVEL DE AGREGAÇÃO DA INFORMAÇÃO	Indicadores Agregados (Índices)
INTERVALO DE VARIAÇÃO	Intervalo fechado de zero a um [0,1] em módulo

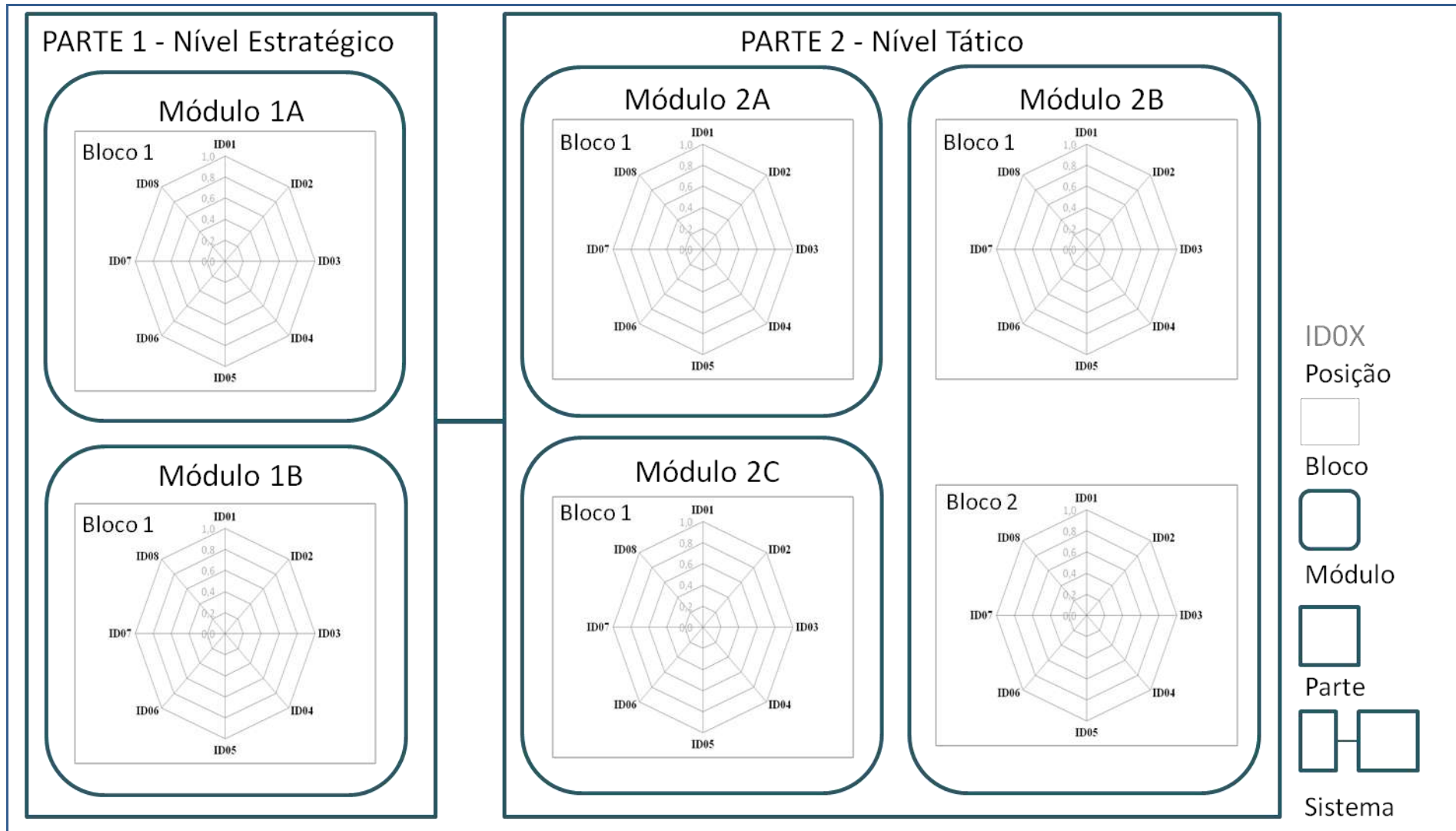


Figura 8 - Esquema geral da estrutura do Sistema de Indicadores para a Avaliação da Expansão e Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canieira

7 ELABORAÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO E POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA

7.1 Proposição, apresentação e descrição dos indicadores componentes do SISH-Cana

O presente ítem tem como objetivo apresentar e descrever os indicadores que foram selecionados, adaptados ou originalmente propostos para compor o Sistema SISH-Cana , por este trabalho proposto.

Como visto anteriormente, o Sistema SISH-Cana foi estruturado em compartimentos hierarquizados designados como: Partes, Módulos, Blocos e Grupos, que correspondem a conjuntos de indicadores organizados conforme a aplicação a que se propõem. As Partes (Parte 1 e 2) representam dois compartimentos basilares que reúnem os Módulos com orientação para dois diferentes níveis de análise e monitoramento (Níveis Estratégico e Tático). Os módulos representam subconjuntos de indicadores que interpretados em conjunto encerram uma noção integral da situação em apreço, sendo orientados ou para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canavieira ou para a avaliação/monitoramento do processo de expansão da cultura canavieira em uma dada UTA de interesse. Os Blocos constituem apenas uma subdivisão de caráter organizacional dentro de um determinado módulo. Por fim, os indicadores foram agrupados em subconjuntos (Grupos) de acordo com a sua funcionalidade e/ou similaridade temática, conceitual ou formal, de maneira a facilitar a compreensão a apresentação e a realização de avaliações analíticas.

Desta forma, cada indicador foi deliberadamente selecionado ou proposto para preencher uma posição que cumpre uma função específica ou objetivo dentro da estrutura lógica do Sistema. Cada posição corresponde a uma ou duas *questões-chave* a serem respondidas pelo indicador colocado. Alguns indicadores ou subgrupos de indicadores similares (indicadores conceitualmente idênticos, adaptados às diferentes situações) ocupam mais de uma posição dentro do Sistema SISH-Cana , visto que são aplicados tanto para o nível estratégico (Parte 1) quanto para o nível tático (Parte 2) ou figuram em Blocos diferentes de um mesmo Módulo.

Para facilitar a apresentação e a compreensão sobre a função de cada indicador e o seu posicionamento dentro da estrutura lógica do Sistema SISH-Cana , os indicadores foram apresentados de forma agrupada de acordo com uma das 10 categorias a que pertencem.

Porém, foram descritos de forma individualizada ou em subgrupos de indicadores similares, que correspondem a indicadores conceitualmente idênticos adaptados às diferentes combinações conforme aplicações específicas. Desta maneira, a apresentação dos indicadores foi subdividida em categorias temáticas conforme a aplicação e a funcionalidade que representam no SISH-CANA , conforme a seguir:

- **Categoria 1:** Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira;
- **Categoria 2:** Indicadores do estágio de desenvolvimento socioeconômico e antropização das bacias hidrográficas;
- **Categoria 3:** Indicadores da vulnerabilidade dos mananciais hídricos e da susceptibilidade da produção hídrica da bacia;
- **Categoria 4:** Indicadores da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira;
- **Categoria 5:** Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira;
- **Categoria 6:** Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira.

Indicadores do Processo de Expansão da Cultura Canavieira:

- **Categoria 7.** Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira;
- **Categoria 8.** Indicadores de substituição de atividades agropecuárias e supressão da vegetação nativa pela cultura canavieira;
- **Categoria 9.** Indicadores da adequabilidade do processo de expansão da cultura canavieira;
- **Categoria 10.** Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.

Para deixar bem documentado, cada indicador proposto foi descrito detalhadamente em tópicos de modo a facilitar a compreensão sobre os objetivos, os conceitos, a formalização e determinação, a interpretação e demais requisitos de cada um deles. A estrutura de apresentação dos indicadores adotada possui um caráter de documentação de requisitos. Cujas leituras, recomenda-se, que seja feita considerando o documento mais como uma base de consulta, sempre que necessário for, do que, necessariamente, uma leitura exaustiva de modo sequencial.

Assim, os indicadores foram descritos por meio dos seguintes tópicos:

- **Introdução:** Breve introdução sobre o grupo de indicadores que será apresentado;
- **Fundamentação teórica:** sempre que for necessário realizar uma discussão com argumentações científica para embasar a compreensão da proposição de um indicador ou grupo de indicadores será utilizado este tópico em qualquer ponto do documento de apresentação. Usualmente é apresentada, após a introdução, no início da apresentação de cada Grupo. Alguns indicadores pela obviedade ou ineditismo prescindem da fundamentação teórica;
- **Justificativa do indicador:** apresenta a justificativa da proposição do indicador no sentido de sua pertinência lógica e função;
- **Objetivo do indicador:** apresenta o objetivo precípua do indicador e a questão-chave que deve ser por ele respondida;
- **Descrição conceitual do indicador:** descreve conceitualmente o indicador;
- **Descrição formal do indicado:** descreve formalmente/matematicamente o indicador;
- **Determinação passo-a-passo do indicador:** apresenta o passo-a-passo para a determinação dos dados intermediários e do indicador;
- **Fontes de dados e informações para o indicador:** apresenta as principais fontes para a obtenção ou extração dos dados e informações para a determinação do indicador;
- **Interpretação do indicador:** apresenta os conceitos centrais, o intervalo de variação e os critérios de interpretação;
- **Considerações sobre o indicador:** apresenta, quando necessário, algumas considerações sobre os critérios, especificidades e limitações da aplicação do indicador;
- **Conclusão sobre o indicador:** conclui se o indicador responde a questão-chave a que se propõe responder;
- **Aplicação do grupo de indicadores no SISH-Cana:** Finaliza cada apresentação de grupo, identificando a posição e a aplicação de cada indicador do grupo dentro da estrutura lógica do SISH-Cana .

7.1.1 Categoria 1: Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira

A primeira e primordial pergunta que surge, naturalmente, no âmbito de um planejamento territorial preocupado com o potencial de desenvolvimento e a sustentabilidade hídrica da cultura canavieira, é: *Qual é a área total favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira?* Em uma seqüência lógica, decorre desta pergunta o seguinte questionamento: *Dentro da área total favorável à cultura canavieira - Qual a área em que a cultura pode ser cultivada em sistema de sequeiro e qual a área onde será obrigatório o uso de irrigação?*

Na busca de responder aos questionamentos postos, o Sistema SISH-Cana apresenta três Indicadores da Favorabilidade Edafoclimática para a Cultura Canavieira:

- Índice de Área total Favorável para a cultura Canavieira (IAFC_T);
- Índice de Área Favorável para a cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (IAFC_S);
- Índice de Área Favorável para a cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (IAFC_I);

Na avaliação do potencial de desenvolvimento e da sustentabilidade hídrica da atividade canavieira a primeira informação importante de valor gerencial é saber se as condições climáticas naturais da unidade territorial de análise favorecem o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro ou, ao contrário, impõem a obrigatoriedade da condução da cultura sob determinado regime de irrigação. Por outro lado, não basta se contar com condições climáticas, total ou parcialmente, favoráveis, caso as propriedades físico-hídricas dos solos não sejam adequadas para garantir suficiente retenção da água, proveniente das chuvas ou irrigação artificial, para o satisfatório desempenho da cultura. Além, é claro, da fertilidade e demais propriedades de importância para a aptidão edáfica. Portanto, avaliar as condições do solo e do clima da região de interesse constitui o caminho lógico para a busca das respostas aos questionamentos postos. Da integração desses dois fatores surgem os zoneamentos de aptidão edafoclimática (Embrapa 2009)

7.1.1.1 Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira (IAFC_T)

7.1.1.1.1 Justificativa e objetivo do indicador IAFC_T

A informação sobre a proporção de ocorrência de áreas favoráveis para o cultivo da cultura da cana-de-açúcar em uma unidade territorial de interesse é de valia primordial para se conhecer o potencial de desenvolvimento da referida atividade agrícola na unidade em apreciação. Constituindo assim, em uma informação crucial de justificativa óbvia, uma vez que, todo e qualquer tipo de planejamento agrícola requer a informação sobre o potencial ou favorabilidade natural para o desenvolvimento da atividade agrícola na região de interesse.

Portanto, se justifica a seleção de indicador de valor gerencial que possa fornecer a informação sobre a ocorrência de áreas favoráveis para o cultivo da cultura da cana-de-açúcar, oferecendo ao analista do nível estratégico e/ou tático um indicativo do potencial da UTA em relação à capacidade edafoclimática para o desenvolvimento da atividade canavieira.

Atendendo a necessidade explicitada, propõe-se um indicador direto, baseado na relação entre a área favorável para o desenvolvimento da atividade canavieira e a área total da Unidade Territorial de Análise. O indicador proposto, portanto, é o *Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira (IAFC_T)*.

7.1.1.1.2 Objetivo do indicador IAFC_T

O objetivo do indicador *Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira* é informar, de modo direto, a proporção de ocorrência de áreas, edafoclimaticamente, favoráveis à cultura canavieira na UTA considerada. Assim, o indicador selecionado objetiva a responder à questão-chave:

- *Qual é a área total favorável ao cultivo da cultura canavieira na UTA considerada?*

7.1.1.1.3 Descrição conceitual do indicador IAFC_T

O indicador Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira estabelece a relação proporcional entre a área total considerada favorável para o cultivo da cultura da cana-de-açúcar e a área total da Unidade Territorial de Análise.

Define-se, como “área favorável” para o cultivo da cultura da cana-de-açúcar a integração das áreas contidas na UTA com aptidão edafoclimática adequada para o pleno ou

satisfatório desenvolvimento econômico da cultura canavieira. Constituem, portanto, as áreas com clima (índices pluviométricos, exigências termiais, fotoperiodismo) solos e topografia favoráveis para o pleno desenvolvimento da cultura canavieira conduzida em sistema de sequeiro ou em sistema de irrigação.

7.1.1.1.4 Descrição formal do indicador $IAFC_T$

A determinação do indicador *Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira* é realizada pela razão entre o valor da área total favorável para a cultura da cana-de-açúcar e o valor da área total da Unidade Territorial de Análise, e, é expresso pelas relações:

$$IAFC_T = S_{FT}/S_{UTA} \quad (01)$$

Ou na forma de percentagem

$$IAFC_T = (S_{FT}/S_{UTA}).100 \quad (02)$$

Onde,

$IAFC_T$: *Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira (adimensional);*

S_{FT} : *Área Favorável para a Cultura Canavieira em geral (ha);*

S_{UTA} : *Área Total da Unidade Territorial de Análise (ha).*

7.1.1.1.5 Determinação do indicador $IAFC_T$

Para determinar o indicador *Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira* os seguintes passos são necessários:

❖ **1º Passo - Obter ou determinar a Área Total da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}):**

A Área Total da Unidade Territorial de Análise pode ser obtida diretamente de fontes secundárias ou determinada por geoprocessamento em ambiente SIG* a partir da base cartográfica adotada.

❖ **2º Passo - Obter ou determinar a Área Total Favorável para a Cultura Canavieira (S_{FT}):**

A Área Favorável para a Cultura da Canavieira corresponde ao somatório das áreas consideradas aptas, em termos pedoclimáticos, para o desenvolvimento da cultura canavieira

na UTA considerada, e pode ser obtida diretamente ou determinada por geoprocessamento em ambiente SIG* a partir de qualquer zoneamento de aptidão edafoclimática para a cultura canavieira, tomado como referência.

❖ **3º Passo – Calcular o Índice de Área Total Favorável da Cultura Canavieira (IAFC_T):**

Após a obtenção da Área Favorável para a Cultura Canavieira em geral (S_{FT}) e da Área Total da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}), calcula-se o indicador IAFC_T conforme a expressão (01) descrita anteriormente.

7.1.1.1.6 Fontes de dados e informações para o indicador IAFC_T

Dependendo do tipo de UTA adotada, o indicador *Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira* pode ser obtido diretamente ou extraído de qualquer zoneamento de aptidão edafoclimática para a cultura canavieira, tomado como referência. Ou, na ausência de um zoneamento edafoclimático, pode-se integrar os dados de outros tipos de zoneamentos, como: aptidão agrícola dos solos, zoneamentos climáticos, de risco climático, entre outros. O *Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar no Brasil - ZAE-Cana* (Embrapa, 2009), instituído pelo Decreto nº 6.961, de 17 de setembro de 2009, constitui a base oficial adotada pelo Governo Federal, e, naturalmente, constitui a fonte principal que dispõe de dados atualizados sobre a aptidão da terra para a cultura canavieira para todo o território nacional. A área da UTA, dependendo do tipo de unidade adotada pode ser obtida de diferentes fontes. Se a UTA adotada for uma unidade político-administrativa, os dados referentes às áreas podem ser obtidos diretamente de relatórios ou da cartografia básica do IBGE ou ainda através de outras fontes como relatórios de planos governamentais, SIGs estaduais, dentre outras. Se a UTA adotada for uma bacia hidrográfica, os dados referentes às áreas podem ser obtidos junto às bases de dados da ANA (SNIRH; HidroWEB), IBGE, dentre outras.

7.1.1.1.7 Interpretação do indicador IAFC_T

O indicador - *Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira* constitui um indicador do “estado” referente ao potencial de uso da terra, sinalizando a proporção da

ocorrência de áreas favoráveis para o cultivo da cultura canavieira na Unidade Territorial de Análise considerada. A interpretação do $IAFC_T$ é imediata, pois, indica de forma direta a proporção da área favorável (apta) para a cultura da cana-de-açúcar em relação à área total da Unidade Territorial de Análise em apreço. Como uma razão entre de áreas, o indicador $IAFC_T$, é adimensional e pode ser expresso em percentagem ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq IAFC_T \leq 1$.

A interpretação do $IAFC_T$ é baseada nos seguintes critérios:

- $IAFC_T = 1,0$ (100% da S_{UTA}): Essa condição ocorre quando: $S_{FT} = S_{UTA}$. Significa que a área total da UTA é favorável ou apta para a cultura canavieira, indicando máxima favorabilidade para o desenvolvimento da cultura canavieira;
- $IAFC_T = 0,0$ (zero) (0% da S_{UTA}): Essa condição ocorre quando: $S_{FT} = 0,0$ (zero). Significa ausência de áreas favoráveis ou aptas para a cultura canavieira na UTA, indicando máxima desfavorabilidade para o desenvolvimento da cultura canavieira;
- $0 < IAFC_T < 1$ (x% da S_{UTA}); Essa condição ocorre quando $S_{FT} < S_{UTA}$. Indica a ocorrência de áreas favoráveis ou aptas para a cultura canavieira na UTA, cuja grandeza revela a proporção das áreas favoráveis ou aptas para o desenvolvimento da cultura canavieira em relação à área total da UTA.

7.1.1.1.8 Considerações sobre o indicador $IAFC_T$

Deve-se observar que a determinação do indicador $IAFC_G$ depende da estimativa das áreas favoráveis ou aptas para a cultura canavieira que, por sua vez, depende da metodologia aplicada para a avaliação da aptidão edafoclimática e dos critérios estabelecidos para a definição das “áreas aptas” em cada zoneamento agrícola tomado como referência. Portanto, deve-se atentar para o fato de que diferentes zoneamentos tomados como referência, ainda que similares, possam conter critérios ligeiramente dispares. Sendo assim, a comparação entre valores do indicador $IAFC_T$ derivados de diferentes trabalhos de referência devem ser feita com precaução. Desta forma para garantir a rastreabilidade do indicador e a correta interpretação e/ou comparação entre aplicações distintas, os critérios de definição das “áreas aptas” devem ser explicitados junto à veiculação do indicador. Esta razão enfatiza a necessidade de uniformização de critérios e, por isso, o presente trabalho preconiza a utilização dos critérios estabelecidos pelo ZAE-Cana (Embrapa, 2009) como padrão, devido

ao seu caráter de marco referencial estabelecido pelo Governo Federal por meio do Decreto nº 6.961, de 17 de setembro de 2009. Contudo, para se calcular ou estimar o $IAFC_T$ deve-se estar atento para a coerência da escala da informação vinculada pelo trabalho de referência e a escala da UTA, a qual se deseja avaliar. Portanto, dependendo da escala da UTA de interesse pode ser necessária a utilização de distintos trabalhos de referência.

7.1.1.1.9 Conclusões sobre o indicador $IAFC_T$

O indicador $IAFC_T$ constitui um indicador direto, relevante e suficiente que, na forma de um índice de área relativa, sinaliza para a proporção da ocorrência de áreas potencialmente favoráveis para o desenvolvimento da cultura canavieira na UTA em consideração, e, responde a questão-chave: *Qual é a área total favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira na UTA considerada?*

7.1.1.2 Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro ($IAFC_S$)

7.1.1.2.1 Justificativa do indicador $IAFC_S$

Uma vez tendo obtido a informação sobre a proporção de ocorrência de áreas, em termos gerais, favoráveis ao cultivo da cultura canavieira na UTA em avaliação, se torna necessário saber qual é a proporção de área na qual a cultura pode se desenvolver em sistema exclusivo de sequeiro.

Deste modo, justifica-se a seleção de um indicador que possa fornecer a informação sobre a ocorrência de áreas favoráveis para o cultivo da cultura da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro, oferecendo ao analista do nível estratégico e/ou tático um indicativo do potencial da UTA em relação à capacidade edafoclimática para o desenvolvimento da atividade canavieira sem a necessidade de adoção de sistemas de irrigação.

Atendendo a esta necessidade, propõe-se um indicador direto, baseado na relação entre a área favorável para o cultivo da cultura canavieira em sistema de sequeiro e a área total da

Unidade Territorial de Análise. O indicador proposto, portanto, é o *Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (IAFC_S)*.

7.1.1.2.2 Objetivo do indicador IAFC_S

O objetivo do indicador *Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro* é informar, de modo direto, a proporção de ocorrência de áreas favoráveis à cultura canavieira em sistema de sequeiro na UTA considerada. Assim, o indicador proposto objetiva responder à questão-chave:

- *Qual é a área favorável para o cultivo da cultura canavieira em sistema de sequeiro na UTA considerada?*

7.1.1.2.3 Descrição conceitual do indicador IAFC_S

O indicador, *Índice de Área Favorável à Cultura da Canavieira em Sistema de Sequeiro* estabelece, em relação área total da Unidade Territorial de Análise (UTA), a proporção de ocorrência de áreas edafoclimaticamente favoráveis nas quais a cultura canavieira pode se desenvolver em sistema de sequeiro com baixo risco climático.

7.1.1.2.4 Descrição formal do indicador IAFC_S

O indicador, *Índice de Área Favorável à cultura da canavieira em sistema de Sequeiro* é determinado calculando-se a razão entre a área total favorável para a cultura canavieira em sistema de sequeiro pela a área total da unidade territorial de análise, dado pela seguinte expressão:

$$IAFC_S = S_{FS}/S_{UTA} \quad (03)$$

Ou na forma de percentagem

$$IAFC_S = (S_{FT}/S_{UTA}).100 \quad (04)$$

Onde,

$IAFC_S$: Índice de Área Favorável à Cultura da Canaveira em Sistema de Sequeiro (adimensional);
 S_{FS} : Área Favorável para a Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro (ha). Corresponde a área total edafoclimaticamente apta para a cultura canaveira em sistema de sequeiro;
 S_{UTA} : Área Total da Unidade Territorial de Análise (ha)

7.1.1.2.5 Determinação passo-a-passo do indicador $IAFC_S$

Para se determinar o indicador $IAFC_S$, os seguintes passos são necessários:

❖ **1º Passo - Obter ou determinar a Área Total da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}):**

A Área Total da Unidade Territorial de Análise pode ser obtida diretamente de fontes secundárias ou determinada por geoprocessamento em ambiente SIG* a partir da base cartográfica adotada.

❖ **2º Passo - Obter ou determinar a Área Favorável para a Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro (S_{FT}):**

A Área Favorável para a Cultura Canaveira corresponde ao somatório das áreas consideradas aptas, em termos de clima, solo e topografia adequados, para o desenvolvimento da cultura canaveira em sistema de sequeiro na UTA considerada, e pode ser obtida diretamente ou determinada por geoprocessamento em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) a partir do zoneamento de aptidão edafoclimática para a cultura da cana-de-açúcar, tomado como referência.

❖ **3º Passo - Calcular Índice de Área Favorável para a Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro ($IAFC_S$):**

Após a obtenção da Área Favorável para a Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro (S_{FS}) e da Área Total da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}), calcula-se o indicador $IAFC_S$ conforme a expressão (03) descrita anteriormente.

7.1.1.2.6 Fonte de dados e informações para o indicador $IAFC_S$

Dependendo do tipo de UTA adotada, o indicador *Índice de Área Favorável à cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro* pode ser obtido diretamente ou extraído de qualquer

zoneamento da aptidão edafoclimática Orientado á cultura da cana-de-açúcar, tomado como referência. Ou, na ausência de um zoneamento edafoclimático, pode-se integrar os dados de outros tipos de zoneamentos, como: aptidão agrícola dos solos, zoneamentos climáticos, de risco climático, entre outros. O Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar no Brasil - ZAE-Cana (Embrapa, 2009), instituído pelo Decreto nº 6.961, de 17 de setembro de 2009, constitui a base oficial adotada pelo Governo Federal, e, naturalmente constitui a fonte principal que dispõe de dados atualizados sobre a aptidão da terra para a cultura canavieira para todo o território nacional. A área da UTA, dependendo do tipo unidade adotada pode ser obtida de diferentes fontes. Se a UTA adotada for uma unidade político-administrativa, os dados referentes às áreas podem ser obtidos diretamente de relatórios ou da cartografia básica do IBGE ou ainda através de outras fontes como relatórios de planos governamentais, SIGS estaduais, dentre outras. Se a UTA adotada for uma bacia hidrográfica, os dados referentes às áreas podem ser obtidos junto às bases de dados da ANA (SNIRH; HidroWEB), IBGE, dentre outras.

7.1.1.2.7 Interpretação do indicador IAFCS

O indicador, Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (IAFCS) constitui um indicador de “estado”, que revela a potencialidade natural da UTA no tocante à favorabilidade climática para o desenvolvimento da atividade canavieira em sistema de sequeiro. A interpretação do IAFCS é imediata, pois, indica de forma direta a proporção da área da Unidade Territorial de Análise que é edafoclimaticamente favorável à cultura da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro. Como uma razão entre áreas o indicador IAFCS é adimensional e pode ser expressão em percentagem (04) ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq \text{IAFCS} \leq 1$. A interpretação do IAFCS é baseada nos seguintes critérios:

- IAFCS = 1,0 (100% da UTA): Essa condição ocorre quando: SFS = SUTA. Significa que a área total da Unidade Territorial de Análise (UTA) é edafoclimaticamente favorável à cultura canavieira em sistema de sequeiro, indicando a máxima favorabilidade para a cultura canavieira em sistema de sequeiro;

- $IAFCS = 0,0$ (zero) (0% da UTA): Essa condição ocorre quando: $SFS = 0,0$ (zero). Significa ausência de área edafoclimaticamente favorável à cultura canavieira em sistema de sequeiro na Unidade Territorial de Análise (UTA), indicando a máxima desfavorabilidade para a cultura canavieira em sistema de sequeiro;
- $0 < IAFCS < 1$ (x% da ATU); Essa condição ocorre quando $SFS < SUTA$. Significa que parte da área da Unidade Territorial de Análise (UTA) é edafoclimaticamente favorável à cultura canavieira em sistema de sequeiro, cuja grandeza revela a proporção da área favorável em relação à área total da UTA, indicando graus intermediários de favorabilidade para a cultura canavieira em sistema de sequeiro.

7.1.1.2.8 Considerações sobre o indicador IAFCS

Deve-se observar que a determinação do indicador IAFCS depende da estimativa das áreas favoráveis ou edafoclimaticamente aptas para a cultura canavieira que, por sua vez, depende da metodologia aplicada para a avaliação da aptidão edafoclimática e dos critérios estabelecidos para a definição das “áreas aptas” em cada zoneamento agrícola tomado como referência. Portanto, deve-se atentar para o fato de que diferentes zoneamentos tomados como referência, ainda que similares, possam conter critérios ligeiramente dispares. Sendo assim, a comparação entre valores do indicador IAFCS derivados de diferentes trabalhos de referência devem ser feita com precaução. Desta forma para garantir a rastreabilidade do indicador e a correta interpretação e/ou comparação entre aplicações distintas, os critérios de definição das “áreas aptas” devem ser explicitados junto à veiculação do indicador. Esta razão enfatiza a necessidade de uniformização de critérios e, por isso, o presente trabalho preconiza a utilização dos critérios estabelecidos pelo ZAE-Cana (Embrapa, 2009) como padrão, devido ao seu caráter de marco referencial estabelecido pelo Governo Federal por meio do Decreto nº 6.961, de 17 de setembro de 2009. Contudo, para se calcular ou estimar o IAFCS deve-se estar atento para a coerência da escala da informação vinculada pelo trabalho de referência e a escala da UTA, a qual se deseja avaliar. Portanto, dependendo da escala da UTA de interesse pode ser necessária a utilização de distintos trabalhos de referência.

7.1.1.2.9 Conclusões sobre o indicador IAFC_S

Ao indicar a proporção de áreas favoráveis para que a cultura canavieira possa se desenvolver em sistema de sequeiro, o indicador, *Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (IAFC_S)*, responde a questão-chave: *Qual é a área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro?*

O IAFC_S constitui, assim, um indicador de utilidade gerencial para tomada de decisão em relação às diretrizes políticas de incentivo e de ordenamento territorial com relação à expansão planejada da atividade canavieira.

7.1.1.3 Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (IAFC_I)

7.1.1.3.1 Justificativa e objetivo do indicador IAFC_I

Uma vez tendo obtido as informações sobre a proporção de ocorrência de áreas favoráveis ao cultivo da cultura canavieira em geral e em sistema de sequeiro na UTA de interesse, se torna imprescindível saber qual é a proporção de área na qual a cultura depende obrigatoriamente da adoção de sistemas de irrigação para o pleno ou satisfatório desempenho comercial.

Deste modo, justifica-se a seleção de um indicador que possa fornecer a informação sobre a ocorrência de áreas favoráveis para o cultivo da cultura da cana-de-açúcar em sistema de irrigação compulsória, oferecendo ao analista do nível estratégico e/ou tático um indicativo do potencial da UTA em relação à capacidade edafoclimática para o desenvolvimento da atividade canavieira com a necessidade de adoção de sistemas de irrigação.

Atendendo a esta necessidade, propõe-se um indicador direto, baseado na relação entre a área favorável para o cultivo da cultura canavieira em sistema de irrigação e a área total da Unidade Territorial de Análise. O indicador proposto, portanto, é o Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação (IAFC_I).

7.1.1.3.2 Objetivo do indicador IAFC_I

O indicador visa fornecer a informação sobre a ocorrência relativa de áreas onde a cultura da cana-de-açúcar só pode ser conduzida satisfatoriamente com a utilização de sistemas de irrigação. O objetivo do indicador, Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória é responder as questões-chave:

- *Qual é a área na qual à cultura canavieira depende obrigatoriamente de irrigação?*
- *Qual é a área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação?*

7.1.1.3.3 Descrição conceitual do indicador IAFC_I

O indicador, *Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (IAFC_I)* estabelece a proporção da área da Unidade Territorial de Análise (UTA) na qual o emprego de irrigação é necessário e compulsório para o pleno desenvolvimento da cultura canavieira. Para tanto, é estabelecido o conceito de *Área de Irrigação Compulsória* que é definida como sendo a área com topografia adequada e aptidão edáfica favorável, mas, climaticamente, apresenta um déficit hídrico que a torna favorável para a cultura canavieira somente com o emprego obrigatório de algum regime de irrigação. Corresponde, em termos práticos, a proporção de área em relação à área total da UTA, na qual a cultura da cana-de-açúcar só pode ser cultivada com adoção da prática da irrigação, nos seguintes regimes: (i) Irrigação de salvamento; (ii) Irrigação suplementar; (iii) Irrigação plena.

7.1.1.3.4 Descrição formal do indicador IAFC_I

O indicador, Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória é determinado calculando-se a razão entre a Área de Irrigação Compulsória pela a Área Total da Unidade Territorial de Análise. O indicador é dado pela seguinte expressão:

$$IAFC_I = S_{IC}/S_{UTA} \quad (05)$$

Ou na forma de percentagem

$$IAFC_I = (S_{IC}/S_{UTA}).100 \quad (06)$$

Onde,

IAFC_I: Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (adimensional);

S_{IC}: Área de Irrigação Compulsória (ha). Corresponde a área na qual a cultura da cana-de-açúcar deve ser conduzida exclusivamente em sistema de irrigação;

S_{UTA} = Área Total da Unidade territorial de Análise (ha).

7.1.1.3.5 Determinação do indicador IAFC_I

Para se determinar o indicador IAFC_I, os seguintes passos são necessários:

❖ **1º Passo - Obter ou determinar a Área Total da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}):**

A área total da Unidade Territorial de Análise pode ser obtida diretamente de fontes secundárias ou determinada por geoprocessamento em ambiente SIG* a partir da base cartográfica adotada.

❖ **2º Passo - Obter ou determinar a Área de Irrigação Compulsória para a cultura canavieira (S_{IC}):**

A Área de Irrigação Compulsória para a cultura da cana-de-açúcar corresponde ao somatório das áreas consideradas aptas, em termos de topografia, solo, e clima, para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória na UTA considerada, e pode ser obtida diretamente ou determinada por geoprocessamento em ambiente SIG* a partir do zoneamento de aptidão edafoclimática para a cultura canavieira, tomado como referência.

❖ **3º Passo – Calcular o Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação (IAFC_I):**

Após a obtenção da Área de Irrigação Compulsória para a cultura canavieira (S_{IC}) e da Área Total da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}), calcula-se o indicador IAFC_I conforme a expressão (05) descrita anteriormente.

7.1.1.3.6 Fontes de dados e informações para o indicador IAFC_I

Dependendo do tipo de UTA adotada, o indicador *Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória* pode ser obtido diretamente ou extraído de qualquer zoneamento da aptidão edafoclimática orientado à cultura cana-de-açúcar, tomado como referência. Ou, na ausência de um zoneamento edafoclimático, pode-se integrar os dados de outros tipos de zoneamentos, como: aptidão agrícola dos solos, zoneamentos climáticos, de risco climático, entre outros. O Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar no Brasil - ZAE-Cana (Embrapa, 2009), instituído pelo Decreto nº 6.961, de 17 de setembro de 2009, constitui a base oficial adotada pelo Governo Federal, e, naturalmente constitui a fonte principal que dispõe de dados atualizados sobre a aptidão da terra para a cultura canavieira para todo o território nacional. A área da UTA, dependendo do tipo unidade adotada pode ser obtida de diferentes fontes. Se a UTA adotada for uma unidade político-administrativa, os dados referentes às áreas podem ser obtidos diretamente de relatórios ou da cartografia básica do IBGE ou ainda através de outras fontes como relatórios de planos governamentais, SIGS estaduais, dentre outras. Se a UTA adotada for uma bacia hidrográfica, os dados referentes às áreas podem ser obtidos junto às bases de dados da ANA (SNIRH; HidroWEB), IBGE, dentre outras.

7.1.1.3.7 Interpretação do indicador $IAFC_I$

O indicador, *Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória* ($IAFC_I$) constitui um indicador de “estado” que revela uma restrição ambiental relacionada a uma relativa desfavorabilidade climática para o desenvolvimento da cultura canavieira em sequeiro, sendo compulsório o uso de irrigação para se atingir produtividades economicamente viáveis. A interpretação do $IAFC_I$ é imediata, pois, indica de forma direta a proporção da área da UTA na qual é obrigatória a utilização da irrigação de salvamento, suplementar ou plena para o pleno desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar. Como uma razão entre áreas o indicador $IAFC_I$ é adimensional e pode ser expresso em percentagem (06) ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq IAFC_I \leq 1$. A interpretação do $IAFC_I$ é baseada nos seguintes critérios:

- $IAFC_I = 1,0$ (100% da UTA): Essa condição ocorre quando: $S_{IC} = S_{UTA}$. Significa que é compulsório o emprego de irrigação para o pleno desenvolvimento da cultura

canaveira em toda a área da UTA, indicando máxima favorabilidade para o desenvolvimento da cultura canaveira em sistema de irrigação;

- $IAFC_I = 0,0$ (zero) (0% da UTA): Essa condição ocorre quando: $S_{IC} = 0,0$ (zero). Indica ausência de áreas de irrigação compulsória na UTA considerada, indicando máxima desfavorabilidade para o desenvolvimento da cultura canaveira em sistema de irrigação;
- $0 < IAFC_I < 1$ (x% da UTA); Essa condição ocorre quando $S_{IC} < S_{UTA}$. Significa que é compulsório o emprego de irrigação para o pleno desenvolvimento da cultura canaveira em parte da área da UTA, cuja grandeza revela a proporção da área de irrigação compulsória na UTA em avaliação, indicando favorabilidade intermediária para o desenvolvimento da cultura canaveira em sistema de irrigação.

7.1.1.3.8 Considerações sobre o indicador $IAFC_I$

Observa-se que, quando o valor do $IAFC_I$ for nulo (0,0) ou menor que um (1,0) o indicador sinaliza a ausência ou ocorrência parcial de áreas na UTA, nas quais é compulsório o emprego de irrigação para o pleno desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar. Entretanto, o indicador $IAFC_I$ sozinho não possui suficiência para esclarecer sobre a favorabilidade climática da UTA considerada. Pois, nestes casos, podem estar ocorrendo as seguintes situações: (i) a área total ou parcial da UTA é climaticamente favorável para a cultura cana-de-açúcar ser conduzida em sistema de sequeiro; (ii) a área total ou parcial da UTA é inapta à cultura da cana-de-açúcar em quaisquer sistemas adotados, por excesso hídrico ou por deficiência hídrica ou térmica; (iii) Uma combinação parcial das duas situações descritas em “i” e “ii”. Portanto, para se avaliar adequadamente a favorabilidade climática e constatar a ocorrência de áreas indicadas para a cultura da cana-de-açúcar, sistema de sequeiro e/ou sistema de irrigação, se faz necessário verificar também o Índice de Área Favorável à Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro ($IAFC_S$). Observa-se assim, que a interpretação conjunta dos dois indicadores $IAFC_S$ e $IAFC_I$ constitui uma recomendação importante para se obter uma visão completa da situação em relação à favorabilidade climática e a distribuição proporcional das áreas onde a cultura canaveira pode ser conduzida em sistema de sequeiro e onde é compulsório o uso de irrigação para o pleno desenvolvimento da mesma. Além disso, o complemento da soma dos dois índices em relação à unidade indica

a proporção de área totalmente desfavorável do ponto de vista edafoclimático, seja por: (i) inaptidão por causa das restrições climáticas, excesso ou deficiência hídrica e/ou térmica; (ii) inaptidão por restrições pedológicas; (iii) topografia inapropriada; (iv) uma combinação dos itens anteriores “i”, “ii”, “iii”. Dado pela seguinte expressão:

$$PAD = 1 - (IAFC_S + IAFC_I) \quad (07)$$

Ou

$$PAD = 1 - IAFC_T \quad (08)$$

Onde,

PAD = Proporção de Área Desfavorável (adimensional). Proporção, em relação à área total da UTA da ocorrência de áreas desfavoráveis ou inaptas para a cultura canavieira por alguma limitação climática, edáfica ou topográfica;

IAFC_S = Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (adimensional). Descrito anteriormente;

IAFC_I = Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (adimensional). Descrito anteriormente;

IAFC_T = Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira (adimensional). Descrito anteriormente.

7.1.1.3.9 Conclusões sobre o indicador IAFC_I

O indicador, *Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória* (IAFC_I), ao sinalizar a proporção de ocorrência de áreas favoráveis ou indicadas para a cultura da cana-de-açúcar com irrigação responde de forma suficiente, as questões-chave: *Qual é a área na qual à cultura canavieira depende obrigatoriamente de irrigação? - Qual é a área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação?* Em conjunto, os dois indicadores, IAFC_S e IAFC_I, se complementam e fornecem informações importantes sobre a situação de favorabilidade edafoclimática da UTA. Apontam para aquelas UTAs cuja dependência da prática da irrigação pode sobrecarregar os recursos hídricos, constituindo-se, portanto, em indicadores indiretos do grau de pressão potencial da atividade canavieira em hipotética expansão sobre os recursos hídricos.

7.1.1.4 Indicadores da Categoria 1 e aplicação no SISH-Cana

O Quadro 10 apresenta de forma resumida os três indicadores selecionados para sinalizar a favorabilidade edafoclimática para a cultura canaveira.

Quadro 10 - Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canaveira.

INDICADORES	FÓRMULAS
IAFC _T - Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canaveira	$IAFC_T = S_{FT}/S_{UTA}$
IAFC _S - Índice de Área Favorável para a Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro	$IAFC_S = S_{FS}/S_{UTA}$
IAFC _I - Índice de Área Favorável para a Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação Compulsória	$IAFC_I = S_{IC}/S_{UTA}$

Nota: (i) S_{UTA} = Área Total da Unidade Territorial de Análise (ha); (ii) S_{FT} = Área Total Favorável à Cultura Canaveira (ha); (iii) S_{FS} = Área Total Favorável à Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro (ha); (iv) S_{IC} = Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canaveira (ha).

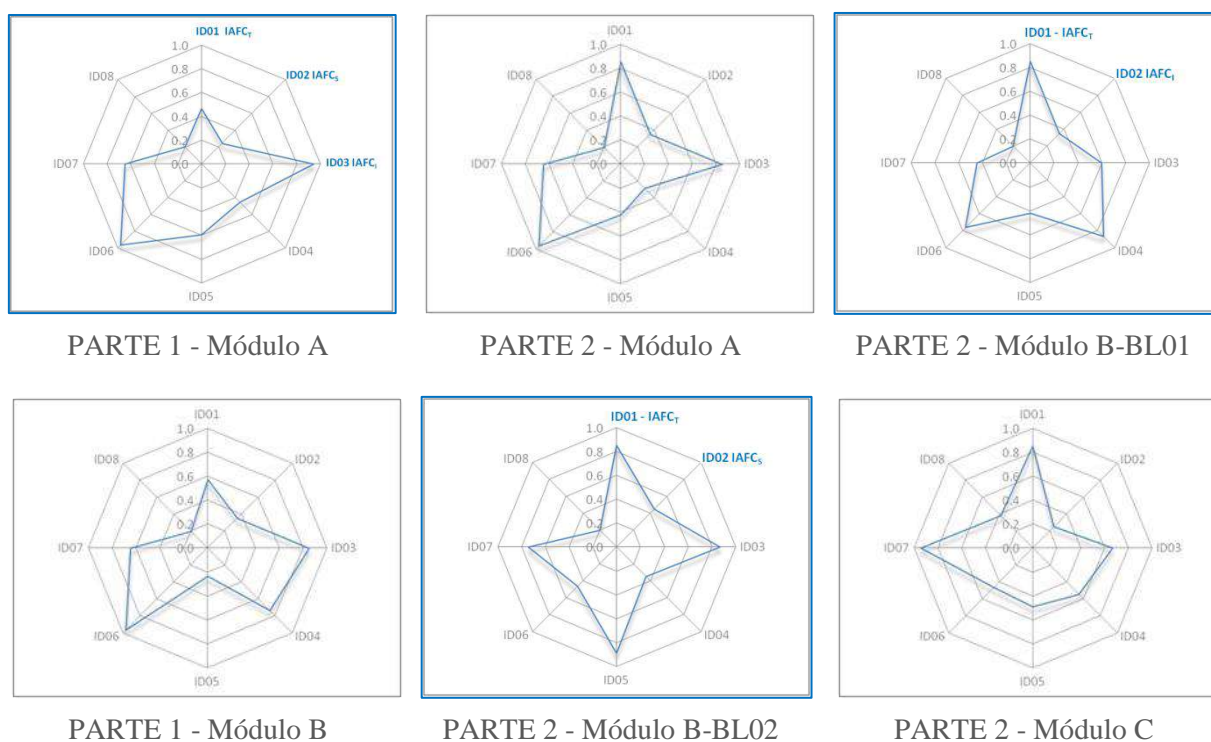


Figura 9 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 1: IAFC_T; IAFC_S e IAFC_I

Nota: (i) PARTE 1-Nível Estratégico; (ii) PARTE 2-Nível Tático; (iii) Módulo 1A: Indicadores de potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canaveira nas UTAs; (iv) Módulo 1B: Indicadores do processo de expansão da cultura canaveira; (v) Módulo 2A: Indicadores do potencial da bacia para o desenvolvimento da atividade canaveira; (vi) Módulo 2B-BL01: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canaveira em sistema de irrigação compulsória; (vii) Módulo 2B-BL02: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canaveira em sistema de sequeiro; (viii) Módulo 2C: Indicadores do processo de expansão da cultura canaveira.

Devido a importância primordial os indicadores do grupo 1: (i) Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; foram propostos para compor a Parte 1 e 2 do SISH-Cana, aplicando-se tanto para o nível estratégico quanto para o tático do planejamento setorial. Os índices $IAFC_T$, $IAFC_S$ e $IAFC_I$ integram os indicadores do SISH-Cana, nas seguintes posições conforme o figura 9.

7.1.2 Categoria 2: Indicadores do estágio de desenvolvimento socioeconômico e antropização das bacias hidrográficas

Este grupo apresenta três índices que indicam em conjunto grau de desenvolvimento de uma bacia hidrográfica em relação à intensidade de utilização de seus recursos naturais através da observação do uso e ocupação do solo, remanescentes de vegetação nativa e o nível de utilização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, da bacia ou seção desta em apreço. O nível de utilização dos recursos hídricos se refere à relação dos totais extraídos por conta da demanda já instalada e a oferta hídrica total em uma determinada bacia.

Conforme a escala espaço-temporal e o ângulo de observação, as bacias hidrográficas podem ser consideradas como sistemas, geomorfológicos, hidrológicos, ecológicos, ou antropomórficos (MARANHÃO, 2007).

Enquanto sistemas geomorfológicos as bacias hidrográficas constituem componentes da paisagem que ocupam uma extensão física definida e estão sujeitas às forças modeladoras da paisagem. Forças estas que são acionadas por processos climáticos (exógenas) e geológicos (endógenas) que atuam na escala temporal geológica. Nesse nível de observação as bacias hidrográficas representam sistemas geomórficos, em estado de equilíbrio, onde as alterações dos diversos fatores intervenientes atuantes, independentemente, das ações antrópicas refletem transformações de cunho permanente em grande escala espaço-temporal (MARANHÃO, 2007).

Enquanto um sistema hidrológico as bacias hidrográficas representam unidades espaciais onde diversos processos do ciclo hidrológico terrestre, relacionados à entrada, armazenamento e fluxo da água têm lugar. As alterações das condições que estabelecem o equilíbrio dinâmico dos fluxos de matéria e energia que perpassam pela bacia refletem em

perturbações no regime hidrológico que tende a uma nova situação de equilíbrio em uma escala centenária. Como sistemas ecológicos, as bacias, podem acondicionar diferenciados ecossistemas nos quais, por processos evolutivos, as formas de vida, interagindo com o meio físico-biótico, vão se tornando, em escala milenar, cada vez mais, especializadas e adaptadas às condições ambientais reinantes (MARANHÃO, 2007).

Deste modo, as bacias hidrográficas constituem sistemas dinâmicos sujeitos à contínua ação desestabilizadora de múltiplas forças físico-bióticas atuantes e a repetidos ajustamentos às novas condições estabelecidas. Em função da ação antrópica, no entanto, a capacidade de ajustamento dos processos que operam na bacia é perturbada e à medida que o desenvolvimento socioeconômico vai se desenrolando, gradualmente, a bacia vai se distanciando do seu estado natural de equilíbrio dinâmico. “Bacias antropomorfizadas.” Neologismo este que designa aquelas bacias cujo grau de alteração das suas propriedades autoreguladoras as tornam sistemas em constante desequilíbrio. Como afirma Maranhão (2007) o comprometimento da sustentabilidade da bacia está na razão direta da intensidade, continuidade e extensão da ação antrópica instalada. Com efeito, segundo o mesmo autor é possível identificar diferentes estágios no processo de desenvolvimento socioeconômico de uma bacia hidrográfica, que seriam: (i) primicial ou virgem; (ii) desenvolvimento pioneiro; (iii) desenvolvimento franco; (iv) desenvolvimento maduro. (v) desenvolvimento saturado. Esses estágios, de certa forma, podem ser relacionados com as mudanças visíveis na paisagem natural das bacias. Mudanças estas consubstanciadas nos padrões de uso e ocupação do solo e nos padrões de utilização e consumo dos seus recursos naturais, notadamente, os recursos hídricos.

7.1.2.1 Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica -IABH

7.1.2.1.1 Justificativa do indicador IABH

Um indicador que pudesse sinalizar o grau de alteração das condições naturais das bacias hidrográficas, em função da antropização territorial, seria de valia para a apreciação do estágio de desenvolvimento socioeconômico das mesmas, tomadas como unidades territoriais de análise. Um indicador com esta capacidade e propósito auxiliaria na avaliação geral das

condições de desenvolvimento sustentável de uma nova atividade agroeconômica. Maranhão (2007) propôs um indicador para detectar o grau de vulnerabilidade dos recursos hídricos e afastamento da bacia hidrográfica das suas condições naturais, baseado na relação entre a área com vegetação natural e a área total da bacia.

Por esta razão, para compor o de indicadores do Sistema SISHM-Cana, propõe-se o indicador, *Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica (IABH)*, conceitualmente fundamentado na idéia de que a intensidade de uso e ocupação do solo constitui um indicativo do grau de desenvolvimento social e econômico de uma bacia, em avaliação em sentido restrito da apropriação de seus recursos naturais. Desta forma, a partir da composição do perfil de uso e ocupação do solo, o analista pode *a priori* estimar o grau de alteração ou “antropização” da bacia hidrográfica, deduzindo, aproximadamente, o estágio de desenvolvimento socioeconômico vigente na bacia em apreciação.

7.1.2.1.2 Objetivo do indicador IABH

O objetivo do indicador, *Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica* fornecer a informação da ocorrência relativa e ponderada de áreas consideradas “antropizadas” em termos de intensidade de uso do solo, buscando responder as questões-chave:

- *Qual é o perfil de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica?*
- *Qual é o grau de alteração ou “antropização” da bacia hidrográfica?*
- *Qual é o estágio de desenvolvimento socioeconômico da bacia hidrográfica?*

7.1.2.1.3 Descrição conceitual do indicador IABH

O *Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica* constitui um indicador que estabelece a relação da ocorrência ponderada de áreas “antropizadas”, em termos de intensidade de uso do solo, com a área total da Unidade Territorial de Análise.

7.1.2.1.4 Descrição formal do indicador IABH

O indicador, Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica é determinado calculando-se a razão entre a média ponderada das áreas das classes de uso e ocupação do solo, conforme o grau de intensidade, e a área da UTA, dado pela seguinte expressão:

$$IABH = S_{AP}/S_{UTA} \quad (09)$$

$$S_{AP} = 2(\bar{p}) \quad (10)$$

$$IABH = 2(\bar{p}) / S_{UTA} \quad (11)$$

Onde,

IABH = Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica (adimensional);

S_{AP} = Área de antropização ponderada (ha);

p̄ = média ponderada

Obs: Corresponde à média das áreas das classes de uso e ocupação do solo conforme a intensidade.

S_{UTA} = Área da Unidade Territorial de Análise (ha).

7.1.2.1.5 Determinação do indicador IABH

Para se determinar o indicador IVRH os seguintes passos são necessários:

❖ **1º Passo - Determinação da área da Unidade Territorial de Análise (*S_{UTA}*):**

A Área da Unidade Territorial de Análise (*S_{UTA}*) pode ser obtida diretamente de fontes secundárias, para o caso de unidades político-administrativas. Ou, quando se tratar de unidades fisiográficas como, por exemplo, bacias hidrográficas, a Área da UTA pode ser determinada, em ambiente SIG*, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento a partir da base cartográfica adotada.

❖ **2º Passo - Determinação da área de antropização ponderada (*S_{AP}*):**

A área de antropização ponderada (*S_{AP}*) é obtida conforma a expressão (09) a partir da ponderação das classes de uso e ocupação do solo de algum Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo tomado como a base cartográfica de temática referência. O método preconiza a determinação da média ponderada das áreas das diferentes classes de uso e ocupação do solo a partir do estabelecimento de pesos conforme a intensidade de uso e ocupação do solo. Assim, no presente caso se ponderou as seguintes classes: (i) área de ocupação urbana - Peso 3 (máximo); (ii) área de uso intensivo (agricultura anual ou perene intensiva) - Peso 2 (intermediário); (iii) área de uso extensivo (pastagens ou reflorestamento silvicultural) – Peso 1 (mínimo). Nota-se que as áreas com vegetação natural não foram consideradas na

ponderação, pois, representam o contraponto da situação de antropização. Para a extração dos dados referentes às áreas de cada classe de uso do solo a ser ponderada se pode fazer uso, em ambiente SIG*, de técnicas de geoprocessamento a partir dos *shapes* de Uso e Ocupação do Solo da carta temática adotada com a interseção da base cartográfica das UTAs de interesse. Calculando-se assim, as áreas de cada classe de uso e ocupação do solo, encontradas nas Unidades Territoriais de Análise adotadas. A expressão (09) pode, então, ser reescrita da seguinte forma:

$$S_{AP} = 2(\bar{p}) \quad (12)$$

$$S_{AP} = 2[(3A_{OU}) + (2A_{UI}) + (A_{UE}) / 6] \quad (13)$$

Onde,

S_{AP} = Área ponderada de antropização (ha);

$2(\bar{p})$ = Média ponderada das áreas

A_{OU} = Área de ocupação urbana (ha);

A_{UI} = Área de uso intensivo (agricultura anual ou perene intensiva) (ha);

A_{UE} = Área de uso extensivo (pastagens ou reflorestamento silvicultural) (ha);

(2) fator utilizado para normalizar o indicador no intervalo [0 IABH 1]

❖ 3º Passo - Determinação do indicador IABH:

De posse dos valores da área da UTA (S_{UTA}), e da área de antropização ponderada (S_{AP}), calcula-se o indicador conforme a expressão (09).

7.1.2.1.6 Fontes de dados e informações para o indicador IABH

As fontes básicas e gerais para a obtenção dos dados requeridos para se determinar o indicador IABH são os diversos Mapeamentos de Uso e Cobertura ou Ocupação do Solo, realizados no âmbito de Zoneamentos Ambientais (diversos), projetos técnicos, projetos de pesquisa ou estudos acadêmicos. Neste particular o Projeto PROBIO (MMA) constitui uma das fontes principais caso a escala 1:250.0000 seja adequada.

7.1.2.1.7 Interpretação do indicador IABH

A interpretação do indicador, Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica é bastante simples, pois, o IABH indica a proporção da ocorrência ponderada de áreas consideradas “antropizadas” na Unidade Territorial de Análise, em consideração. O IABH constitui um indicador de estado, relacionado à alteração da cobertura vegetal natural da paisagem da UTA.

Como uma razão entre áreas o indicador IABH, é adimensional, e pode ser normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq \text{IABH} \leq 1$. A interpretação do IABH é baseada nos seguintes critérios:

- $\text{IABH} = 0,0$ - Essa condição ocorre quando: $S_{AP} = 0,0$. Significa que a UTA ou bacia não possui área antropizada de acordo com os critérios estabelecidos. Representa o estágio de desenvolvimento primicial onde a cobertura natural da bacia se encontra inalterada, no sentido restrito de sua extensão em área. Constitui um valor referencial de mínima (nula) antropização e desenvolvimento socioeconômico primicial da bacia hidrográfica ou UTA em apreço;
- $\text{IABH} = 1,0$ - Essa condição ocorre quando: $S_{AP} = S_{UTA}$. Significa que a área inteira da UTA ou bacia é constituída com a classe de máxima antropização (área urbana) de acordo com os critérios estabelecidos. Representa o estágio de desenvolvimento saturado com urbanização total da ocupação do solo da bacia. Constitui um valor referencial de máxima antropização e desenvolvimento socioeconômico saturado da bacia hidrográfica ou UTA em apreço;
- $0 < \text{IABH} < 1$ - Essa condição ocorre quando: $S_{VP} < S_{UTA}$. Significa que a UTA possui uma combinação das 3 classes de antropização de acordo com os critérios estabelecidos, cuja grandeza revela a proporção ponderada de ocorrência das áreas consideradas antropizadas. Constituem valores intermediários de antropização e desenvolvimento socioeconômico (pioneiro, franco, maduro) da bacia hidrográfica ou UTA em apreço;

7.1.2.1.8 Considerações sobre o indicador IABH

Em relação à interpretação do IABH deve-se ter o cuidado de não associar o valor do índice a uma relação proporcional ou percentual entre áreas, visto que, o parâmetro utilizado

para estabelecer a área antropizada ponderada (S_{VP}) foi, conforme exposto, a média ponderada das áreas das classes de usos do solo o que não corresponde à extensão real da área antropizada na UTA considerada. Portanto, o indicador IABH não pode ser expresso em percentagem.

7.1.2.1.9 Conclusões sobre o indicador IABH

O indicador, Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica, responde as questões-chave: Qual é o perfil de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica? - *Qual é o grau de alteração ou “antropização” da bacia hidrográfica?*- *Qual é o estágio de desenvolvimento socioeconômico da bacia hidrográfica?*

Deste modo, trata-se de um indicador pertinente e relevante para o planejamento territorial ou setorial no nível tático de uma bacia hidrográfica.

7.1.2.2 , Índice de Vegetação Natural Remanescente - IVNR.

7.1.2.2.1 Justificativa do indicador IVNR

O indicador, *Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica* (IABH), proposto para medir a intensidade de uso e ocupação do solo como um indicativo do grau de desenvolvimento social e econômico de uma bacia, apesar de trazer de forma implícita, por contraposição, a informação sobre o estado da cobertura de vegetal natural, não explicita a proporção real da área ainda com remanescentes de vegetação nativa na bacia em avaliação. Informação esta complementar a estruturação da noção sobre o grau de afastamento ou aproximação das condições naturais pretéritas de uma bacia hidrográfica. Além disso, constitui uma informação de importância crucial no que tange aos planejamentos ambientais que incorporam um viés conservacionista, não somente, no sentido da salva guarda da biodiversidade como também da preservação das condições de proteção das nascentes e canais fluviais influenciando a produção de água na bacia em apreço.

Pelas razões expostas, para compor os indicadores do grupo: *Indicadores do grau de antropização do uso do solo (Perfil do desenvolvimento socioeconômico)*; do módulo 2A do SISH-Cana, adotou-se um indicador que foi proposto por Maranhão (2007) para detectar o grau de vulnerabilidade dos recursos hídricos e afastamento da bacia hidrográfica das suas condições naturais, baseado na relação entre a área com vegetação natural e a área total da bacia. O indicador, portanto, relacione a área de vegetação natural remanescente com a área total da bacia considerada. Na presente tese, o indicador foi nomeado de: *Índice de Vegetação Natural Remanescente (IVNR)*.

7.1.2.2.2 Objetivo do indicador IVNR

O objetivo do indicador IVNR é sinalizar o estado da cobertura vegetal natural remanescente de uma dada bacia hidrográfica, como um indicativo do estágio de aproximação ou afastamento das condições naturais da mesma. O indicador Índice de Remanescente de Vegetação Natural busca, portanto, responder a seguinte questão-chave:

- *Qual é o estado da cobertura vegetal natural remanescente da bacia em apreciação?*

7.1.2.2.3 Descrição conceitual do indicador IVNR

O , Índice de Vegetação Natural Remanescente estabelece a área relativa de remanescentes e vegetação natural. Por “vegetação natural”, entende-se toda e qualquer formação fitofisionômica natural do bioma em foco. Desta maneira, o IVNR indica, em relação à área total da bacia, a proporção da área que ainda possui remanescentes de vegetação natural no momento observado.

7.1.2.2.4 Descrição formal do indicador IVNR

O , Índice de Vegetação Natural Remanescente é determinado pela razão entre a área de vegetação natural remanescente e a área total da bacia em avaliação, e, é dado pela expressão:

$$IVNR = S_{VR} / S_{UTA} \quad (14)$$

Ou na forma de percentagem,

$$IVNR = (S_{VR} / S_{UTA}).100 \quad (15)$$

Onde,

IVNR = , Índice de Vegetação Natural Remanescente (adimensional)

S_{VR} = Área e Vegetação Natural Remanescente (ha);

S_{UTA}: Área total da bacia (UTA) (ha).

7.1.2.2.5 Determinação do indicador IVNR

Para determinar o IVNR os seguintes passos são necessários:

❖ **1º Passo - Determinação da área de vegetação natural remanescente (S_{VR}):**

Determina-se a área de vegetação natural remanescente (S_{VR}) a partir da obtenção ou extração deste dado do mapa temático de uso e cobertura do solo utilizado como referência.

❖ **2º Passo - Determinação da área total da bacia (UTA) (S_{UTA}):**

Determina-se a área total da bacia (S_{UTA}) a partir da obtenção deste dado de fontes secundárias ou extração do mesmo da base cartográfica utilizada como referência.

❖ **3º Passo - Calcular o indicador IRVN:**

De posse das áreas S_{VR} e S_{UTA}, calcula-se o indicador conforme a expressão (14) do item *descrição formal do indicador IVNR*.

7.1.2.2.6 Fontes de dados e informações para o indicador IVNR

As fontes básicas e gerais para a obtenção dos dados requeridos para se determinar o indicador IRVN são os diversos Mapeamentos de Uso e Cobertura do Solo, realizados no âmbito de projetos técnicos, zoneamentos diversos, estudos acadêmicos, etc. Neste particular

o Projeto PROBIO (MMA) constitui uma das fontes principais caso a escala 1:250.000 seja adequada.

7.1.2.2.7 Interpretação do indicador IVNR

A interpretação do indicador , Índice de Vegetação Natural Remanescente é bastante simples e imediata, pois, o IVNR indica de forma direta a proporção da área da bacia que ainda exhibe vegetação natural. O IVNR constitui um indicador direto da mudança de estado relacionada à dinâmica de uso e cobertura do solo, e, indireto, do impacto sobre os recursos hídricos e o estágio de desenvolvimento socioeconômico da bacia hidrográfica em apreciação. Como uma razão entre áreas o indicador IVNR é adimensional e pode ser expresso em percentagem ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq IVNR \leq 1$.

A interpretação do IVNR é baseada nos seguintes critérios:

- $IVNR = 1,0$ (100% S_{UTA}). Essa condição ocorre quando: $S_{VR} = S_{UTA}$. Significa que a área de vegetação natural recobre a bacia inteira. Representa um estágio de preservação máxima da cobertura vegetal, sinalizando um estágio inicial ou anterior a ocupação socioeconômica da bacia em apreço;
- $IVNR = 0,0$ (0% S_{UTA}). Essa condição ocorre quando: $S_{VR} = 0,0$ (zero). Significa que não existe mais vegetação natural remanescente na bacia em apreço. Representa um estágio de afastamento máximo das condições naturais da bacia e impacto máximo sobre a vegetação natural e os recursos hídricos, sugerindo um estágio de desenvolvimento econômico saturado;
- $0 < IVNR < 1$ (x% S_{UTA}). Essa condição ocorre quando: $S_{VR} < S_{UTA}$. Significa que existem parcialmente, áreas de vegetação natural remanescente, cuja grandeza revela a proporção da área de vegetação natural remanescente em relação a are total da bacia. Representa valores intermediários de impacto causado sobre a vegetação nativa e graus relativos de afastamento das condições naturais da bacia.

7.1.2.2.8 Considerações sobre indicador IVNR

Cabe lembrar que o índice IVNR constitui um indicador direto do estado da cobertura do solo e indireto do estado de integridade das condições da bacia que estabilizam os processos hidrológicos. Entretanto, como a cobertura vegetal é um dos fatores intervenientes mais importantes nos processos de recarga dos aquíferos e escoamento da bacia que mantém

os e dos os níveis de base e os caudais fluviais, o estado da cobertura vegetal se torna naturalmente um indicador da integridade dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. Além disso, o índice IVNR ao informar sobre a situação da vegetação remanescente se presta também para a avaliação sobre a integridade dos ecossistemas naturais da bacia em apreço.

7.1.2.2.9 Conclusões sobre indicador IVNR

O indicador, Índice de Vegetação Natural Remanescente responde satisfatoriamente a questão-chave: Qual é o estado da cobertura vegetal natural remanescente da bacia em apreciação? E, ainda lança luzes sobre as questões relacionadas com a integridade dos recursos hídricos e ecossistemas naturais, constituindo um indicador que auxilia na compreensão da situação ambiental da bacia em apreciação.

7.1.2.3 Índice de Retirada Hídrica Total (IRHT)

7.1.2.3.1 Justificativa do indicador IRHT

O indicador “Retiradas Totais em relação à Q_{mlt}” foi proposto por Maranhão (2007) com um dos indicadores componentes do SINPLAGE na “dimensão de uso da água”, cujo objetivo seria responder a pergunta: “Quanta água é extraída da bacia para usos “offstream” relativamente à vazão média?” Segundo este autor, o indicador mencionado constitui um integrador de um vasto conjunto de indicadores com menor abrangência e maior especificidade orientados para designar tipos específicos de uso da água, como por exemplo: consumo urbano per capita (total, superficial, subterrânea); taxa de redução do uso de água per capita (retiradas e consumos); diluição de efluentes per capita; dotação média por ha irrigado na bacia, depleção anual de reservatórios; grau de regularização das vazões; cobertura de saneamento básico (abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos); volumes anuais efetivamente importados ou exportados, dentre outros.

De acordo com Maranhão (2007) o nível e o padrão de uso de água de uma bacia constitui um indicativo indireto do estágio de desenvolvimento social e econômico da referida

bacia. O estágio de desenvolvimento socioeconômico de uma bacia e o perfil das suas atividades econômicas apresentam uma forte correlação com os diversos tipos e intensidade de uso da água da mesma. Por esta razão, um indicador que possa correlacionar os totais de água extraídas, para os diversos fins, com a oferta hídrica geral, sinaliza também para o nível de intensidade de uso dos recursos hídricos da bacia, sugerindo o estágio de desenvolvimento socioeconômico da mesma. Vale dizer, também, que sinaliza o grau de pressão ao qual estão submetidos os recursos hídricos.

Desta forma, justifica-se a adoção de um indicador com este propósito. O indicador Índice de Retirada Hídrica Total (IRHT), no momento proposto, conceitualmente é o mesmo indicador proposto por Maranhão (2007) e foi adotado para fazer parte do Módulo A da Parte 2 do SISH-Cana .

7.1.2.3.2 Objetivo do indicador IRHT

O índice IRHT visa indicar de forma direta o nível de utilização ou grau de intensidade de uso de água já instalado na bacia, sugerindo o estágio de desenvolvimento socioeconômico da mesma. O objetivo do indicador IRHT é buscar a resposta para a questão-chave:

- *Qual é o nível de utilização ou o grau de intensidade de uso dos recursos hídricos já instalados na bacia?*

7.1.2.3.3 Descrição conceitual do indicador IRHT

O indicador, Índice de Retirada Hídrica Total estabelece a relação entre as retiradas totais e a produção média de água da bacia hidrográfica. As “retiradas” constituem as abstrações ou remoções de volumes de água dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos para atender a todo e qualquer tipo de uso da água na bacia hidrográfica em apreciação. Desta forma o conceito sintetiza as informações sobre os diferentes tipos de uso da água. (MARANHÃO, 2007). Ao estabelecer a relação do somatório do total de água extraída pela produção média de água, o índice indica o nível de utilização e/ou o grau de intensidade de

uso dos recursos hídricos já instalados na bacia, apontando para o grau de pressão sobre os recursos hídricos e, sugerindo o estágio de desenvolvimento da bacia hidrográfica em questão.

7.1.2.3.4 Descrição formal do indicador IRHT

O IRHT é determinado pela razão do somatório das vazões das retiradas de água da bacia sobre a vazão média de longo termo e, é dado por:

$$IRHT = \sum Q_{RET} / Q_{mlt} \quad (16)$$

Onde,

IRHT = Índice de Retirada Hídrica Total (adimensional);
 $\sum Q_{RET}$ = Somatório de todas as retiradas de água da bacia ($m^3 s^{-1}$);
 Q_{mlt} = Vazão média de longo termo ($m^3 s^{-1}$).

7.1.2.3.5 Determinação passo-a-passo do indicador IRHT

Para se determinar o indicador IRHT os seguintes passos são necessários:

❖ **1º Passo - Estimar as retiradas hídricas totais (RHT).**

Obter ou realizar o somatório de todas as vazões retiradas (alocações e explorações) de água da bacia ou a montante da seção de monitoramento fluviométrico, conforme expressão a seguir:

$$R_{HT} = \sum Q_{RET} \quad (17)$$

Onde,

R_{HT} = Retiradas hídricas totais ($m^3 s^{-1}$);
 $\sum Q_{RET}$ = Somatório das vazões das retiradas ($m^3 s^{-1}$).

❖ **2º Passo - Calcular a vazão média de longo termo (Q_{mlt}):**

Obter ou calcular a vazão média de longo termo (Q_{mlt}) com a seguinte expressão:

$$Q_{mlt} = \sum Q_{ma} / n^{\circ} \text{ anos} \quad (18)$$

Onde,

Q_{mlt} = Vazão média de longo termo
 $\sum Q_{ma}$ = Somatório das vazões médias anuais
 $N^{\circ} \text{ anos}$ = número de anos da série utilizada

❖ **3º Passo - Calcular os indicadores IRHT e IEHT:**

De posse dos valores R_{HT} e Q_{mlt} , calcular o indicador conforme a expressão (16).

7.1.2.3.6 Fonte de dados e informações para o indicador IRHT.

Tanto os dados sobre as retiradas quanto sobre as explorações em uma bacia podem ser obtidos nos bancos de dados de órgãos gestores de recursos hídricos, como o da Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos da ANA (Agência Nacional de Águas), em planos de Recursos Hídricos de bacias hidrográficas, em Cadastros de Usuários de Água ou de Licenciamento de Outorgas de Órgãos Públicos Setoriais. Para a determinação das explorações totais também podem ser usados os dados de Sistemas de Cadastramento de Poços Tubulares como, por exemplo, os projetos SIAGAS e RIMAS/CPRM. Os dados hidrométricos para a estimativa dos indicadores hidrológicos podem ser obtidos na Agência Nacional das Águas (ANA), Órgãos Estaduais, Concessionárias de Serviço Público, dentre outros.

Na ausência de dados para a determinação das retiradas e/ou explorações, pode-se também realizar estimativas das demandas estabelecidas com base em padrões de usos unitários: (i) usos urbanos (domésticos, comerciais, serviços públicos e industriais abastecidos por rede pública); (ii) usos industriais (por tipologia de indústria ou correlações com o porte representado pelo número de empregados ou pela produção); (iii) usos rurais (rebanho; irrigação) a partir de informações do IBGE, Censo Agropecuário cadastramentos específicos (MARANHÃO, 2007).

7.1.2.3.7 Interpretação do indicador IRHT.

A interpretação do Índice de Retirada Hídrica Total (IRHT), é imediata, pois, indica de forma direta a relação dos totais hídricos extraídos com a produção de água média da bacia. Ao indicar a intensidade relativa do uso geral da água ou da exploração dos recursos hídricos da bacia em avaliação, o referido índice pode ser considerado como indicador de “pressão” sobre os recursos hídricos. Revelando o padrão de uso geral dos recursos hídricos, o indicador IRHT, de maneira indireta, contribui para compor uma noção sobre o estágio de desenvolvimento socioeconômico da bacia hidrográfica em questão. Como uma razão entre

grandezas com unidades iguais, o indicador IRHT é adimensional e, pode ser expresso em percentagem ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq \text{IRHT} \leq \infty$.

A interpretação do IRHT, de forma geral, se baseia nos seguintes critérios:

- $\text{IRHT} = 0,0$ (zero) (0% da Q_{mlt}). Essa condição ocorre quando: $R_{\text{HT}} = 0,0$ (zero). Significa ausência total de retirada de água da bacia, indicando um estágio de nenhum ou baixíssimo desenvolvimento socioeconômico, onde os recursos hídricos, isentos de pressão, ainda se encontram preservados;
- $0 < \text{IRHT} < 1$ ($x\%$ da Q_{mlt}). Essa condição ocorre quando: $R_{\text{HT}} < Q_{\text{mlt}}$ Significa que os recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, estão, em determinada medida, sendo explorados, indicando estágios intermediários de desenvolvimento socioeconômico e pressão sobre os recursos hídricos. A grandeza do valor do indicador revela a intensidade relativa da exploração dos recursos hídricos;
- $\text{IRHT} = 1,0$ (100% da Q_{mlt}). Essa condição ocorre quando: $R_{\text{HT}} = Q_{\text{mlt}}$. Significa que as retiradas se igualam a oferta de água geral da bacia, indicando um estágio avançado de desenvolvimento socioeconômico e de alta pressão sobre os recursos hídricos. Constitui um valor crítico, limite da sustentabilidade dos recursos hídricos;
- $\text{IRHT} > 1$. Essa condição ocorre quando: $R_{\text{HT}} > Q_{\text{mlt}}$. Significa que as retiradas ultrapassam a oferta de água, superficial e subterrânea, da bacia, indicando uma situação de sobre-exploração e impacto sobre dos recursos hídricos e, revelando um estágio de desenvolvimento socioeconômico insustentável. Constitui valores críticos de insustentabilidade dos recursos hídricos;
- **Critério adotado:** Quando o $\text{IRHT} > 1$ o índice assume o valor unitário ($\text{IRHT} = 1,0$). Para efeito da padronização proposta pela metodologia do SISH-Cana considera-se que valores do indicador $\text{IRHT} \geq 1,0$ indicam um nível de criticidade máxima quanto a insustentabilidade dos recursos hídricos.

7.1.2.3.8 Considerações sobre o indicador IRHT.

O indicador *Índice de Retirada Hídrica Total* atende aos propósitos do Módulo 2A do SISH-Cana referente ao nível tático, ao possibilitar a análise do grau de comprometimento dos volumes hídricos disponíveis provenientes dos caudais de superfície e mananciais subterrâneos (representados pela Q_{mlt}) em função da demanda já implantada na bacia

hidrográfica de interesse. Conjuntamente, com o indicador *Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica*, o índice IRHT revelam o estágio de desenvolvimento socioeconômico da bacia em apreço no tocando à exploração dos recursos hídricos da mesma.

7.1.2.3.9 Conclusões sobre o indicador IRHT.

O indicador, Índice de Retirada Hídrica Total, responde de forma satisfatória a questão-chave: Qual é o nível de utilização e/ou o grau de intensidade de uso dos recursos hídricos instalados na bacia?

7.1.2.4 Indicadores da Categoria 2 e aplicação no SISH-Cana

De forma sumarizada, o Quadro 11 apresenta os indicadores do grupo 2 com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 11 - Categoria 2: Indicadores do estágio de desenvolvimento socioeconômico e antropização das bacias hidrográficas

INDICADORES	FÓRMULAS
IABH - Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica	$IABH = S_{AP}/S_{UTA} \rightarrow S_{AP} = 2. \bar{p}$
IVN R- Índice de Vegetação Natural Remanescente	$IVNR = S_{VR} / S_{UTA}$
IRHT - Índice de Retirada Hídrica Total	$IRHT = Q\Sigma_{ret} - Q_{mlt}$

Nota: (i) S_{AP} = Área de antropização ponderada; (ii) S_{UTA} = Área da Unidade Territorial de Análise (iii) S_{VR} = Área de vegetação remanescente; (iv) $Q\Sigma_{ret}$ = Somatório das vazões de retiradas; (v) Q_{mlt} = Vazão média de longo termo.

Os indicadores da categoria 2: IABH; IVNR e IRHT são orientados ao módulo para a avaliação do potencial de desenvolvimento da bacia para a atividade canavieira. Os índices se aplicam exclusivamente ao Módulo 2^a da Parte 2 do SISH-CANA, orientado ao nível tático do

planejamento setorial. Os índices do grupo 2 integram os indicadores do SISH-Cana , nas seguintes posições (Figura 10).

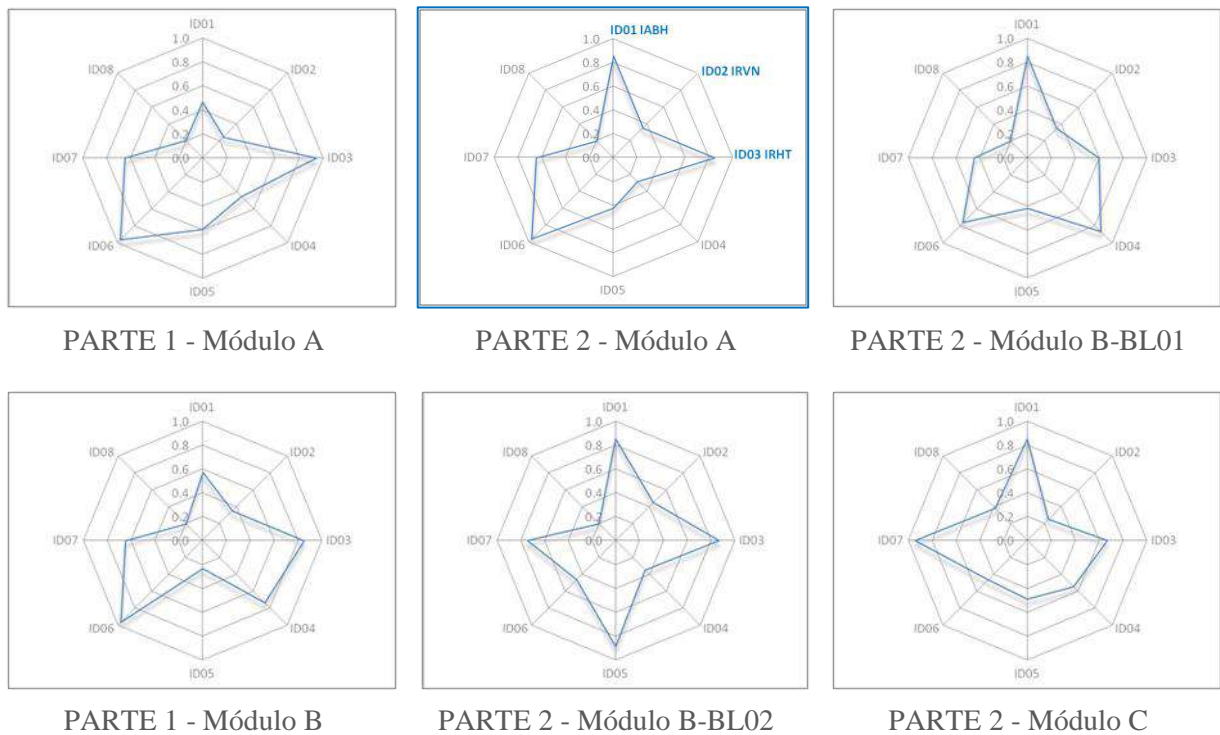


Figura 10 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 2: IABH; IVNR e IRHT

Nota: (i) PARTE 1-Nível Estratégico; (ii) PARTE 2-Nível Tático; (iii) Módulo 1A: Indicadores d potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canaveira nas UTAs ; (iv) Módulo 1B: Indicadores do processo de expansão da cultura canaveira; (v) Módulo 2A: Indicadores do potencial da bacia para o desenvolvimento da atividade canaveira; (vi) Módulo 2B-BL01: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canaveira em sistema de irrigação compulsória; (vii) Módulo 2B-BL02: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canaveira em sistema de sequeiro; (viii) Módulo 2C: Indicadores do processo de expansão da cultura canaveira.

7.1.3 Categoria 3. Indicadores da vulnerabilidade dos mananciais hídricos e da susceptibilidade da produção hídrica da bacia

Este grupo agrega dois indicadores que buscam estabelecer, uma deles relações de vulnerabilidade, do ponto de vista qualitativo, dos mananciais hídricos sob ameaça ou risco de contaminação por efluentes químicos da agroindústria sucroalcooleira e, o outro, relações de susceptibilidade da bacia às interferências no regime de escoamento e geração de vazões por conta das mudanças de uso do solo.

A vulnerabilidade de um sistema natural pode ser compreendida pela fragilidade intrínseca e susceptibilidade ante a uma determinada pressão, entendida como todas as atividades antrópicas que exercem efeitos deletérios que induzem ao rompimento das propriedades ecossistêmicas dos sistemas naturais. Um sistema natural torna-se vulnerável na medida em que apresenta uma fragilidade intrínseca da sua natureza estrutural ou funcional e encontra-se sob a condição de uma pressão efetiva ou sob a ameaça de uma pressão potencial. Um sistema frágil pode, a princípio, não estar vulnerável caso não haja sobre ele uma pressão efetiva ou potencial. A vulnerabilidade, dessa forma, está associada à ideia de risco, tanto maior quanto maior for a fragilidade do sistema e maior for a pressão a qual este encontra-se submetido.

7.1.3.1 Índice de Vulnerabilidade à Contaminação Hídrica (IVCH)

7.1.3.1.1 Justificativa do indicador IVCH

Com efeito, considerando o propósito de um sistema de indicadores como o atual, orientado para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica de uma atividade agrícola, a noção sobre o nível de fragilidade dos recursos hídricos, vulnerabilidade ou risco, aos quais podem vir a estar submetidos torna-se de grande relevância. Neste sentido, a proposta de um indicador que possa sinalizar o grau de vulnerabilidade ou susceptibilidade dos recursos hídricos à pressão da expansão da cultura canvieira em uma dada UTA de interesse, se reveste de importância singular na proposição do SISH-Cana.

Restrita a dimensão qualitativa, a vulnerabilidade ora considerada diz respeito ao risco de contaminação dos mananciais hídricos, ou seja, os caudais fluviais de superfície e a reserva renovável subterrânea, associada aos aquíferos livres ou freáticos. Portanto, baseado em uma metodologia de avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos mananciais freáticos por agroquímicos (GOMES, SPADOTTO E PESSOA, 2002) adaptado para o vinhoto, propõe-se o indicador, Índice de Vulnerabilidade à Contaminação Hídrica (IVCH) Assim o IVCH busca fornecer a informação da ocorrência relativa de áreas consideradas vulneráveis em termos de risco de contaminação dos recursos hídricos.

7.1.3.1.2 Objetivo do indicador IVCH

O objetivo do indicador, *Índice de Vulnerabilidade à Contaminação Hídrica* é fornecer a informação sobre a proporção da ocorrência relativa de áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos, buscando responder a questão-chave:

- *Qual é o risco de contaminação dos recursos hídricos por causa da expansão da cultura canavieira?*

7.1.3.1.3 Descrição conceitual do indicador IVCH

O indicador, Índice de Vulnerabilidade à Contaminação Hídrica, constitui um indicador que busca estabelecer a relação da ocorrência de áreas vulneráveis em relação ao risco de contaminação dos mananciais hídricos com a área total da Unidade Territorial de Análise (UTA). O risco de contaminação está associado aos efluentes da agroindústria sucroalcooleira, notadamente, o vinhoto ou vinhaça que, quantitativamente, constitui o principal efluente produzido. Assim sendo, o IVCH estabelece a relação da ocorrência ponderada de classes de vulnerabilidade relacionadas à contaminação dos mananciais hídricos, por conta da vinhaça, com a área total da Unidade Territorial de Análise.

7.1.3.1.4 Descrição formal do indicador IVCH

O indicador, Índice de Vulnerabilidade à Contaminação Hídrica (IVCH) é determinado calculando-se a razão entre a média ponderada das áreas das classes de vulnerabilidade, conforme o grau de intensidade, e a área da UTA, dado pela seguinte expressão:

$$IVCH = S_{VP}/S_{UTA} \quad (19)$$

$$S_{VP} = 2(\bar{p}) \quad (20)$$

$$IVCH = 2(\bar{p}) / S_{UTA} \quad (21)$$

Onde,

IVCH = Índice de Vulnerabilidade Contaminação Hídrica (adimensional);

S_{VP} = Área de vulnerabilidade hídrica ponderada (ha);

p̄ = média ponderada

Obs: Corresponde à média ponderada das áreas das classes vulneráveis $2(\bar{p})$.

S_{UTA} = Área da Unidade Territorial de Análise (ha).

7.1.3.1.5 Determinação do indicador IVCH

Para se determinar o indicador IVRH os seguintes passos são necessários:

❖ **1º Passo - Determinação da área da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}):**

A Área da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}) pode ser obtida diretamente de fontes secundárias, para o caso de unidades político-administrativas. Ou, quando se tratar de unidades fisiográficas como, por exemplo, bacias hidrográficas, a Área da UTA pode ser determinada, em ambiente SIG*, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento a partir da base cartográfica adotada.

❖ **2º Passo - Determinação da área ponderada de vulnerabilidade (S_{VP}):**

A área ponderada de vulnerabilidade (S_{VP}) é obtida conforma a expressão (20) a partir da ponderação das classes de vulnerabilidade, definidas conforme critérios estabelecidos no método adotado para o mapeamento das áreas vulneráveis, tomado como referência. O método preconiza a determinação da média ponderada das áreas das diferentes classes de vulnerabilidade a partir do estabelecimento de pesos conforme o grau de vulnerabilidade. Assim, no presente caso se ponderou as seguintes classes: (i) área de vulnerabilidade alta (alto potencial de infiltração ou escoamento da água) - Peso 3 (máximo); (ii) área de

vulnerabilidade média (médio potencial de infiltração ou escoamento da água) - Peso 2 (intermediário); (iii) área de vulnerabilidade baixa (baixo potencial de infiltração ou escoamento da água) – Peso 1 (mínimo). A expressão (19) pode, então, ser reescrita da seguinte forma:

$$S_{AP} = 2(\bar{p}) \quad (22)$$

$$S_{AP} = 2[(3A_{VA}) + (2A_{VM}) + (A_{VB}) / 6] \quad (23)$$

Onde,

S_{AP} = Área ponderada de antropização (ha);

$2(\bar{p})$ = Média ponderada das áreas

A_{VA} = Área de vulnerabilidade alta (ha);

A_{VM} = Área vulnerabilidade média (ha);

A_{VB} = vulnerabilidade baixa (ha);

(2) fator utilizado para normalizar o indicador no intervalo [0 IABH 1]

Para a extração dos dados referentes às áreas de cada classe de vulnerabilidade a ser ponderada se pode fazer uso, em ambiente SIG*, de técnicas de geoprocessamento a partir dos shapfiles de vulnerabilidade do mapa temático para este fim elaborado com a interseção da base cartográfica das UTAs de interesse. Calculando-se assim, as áreas de cada classe de vulnerabilidade, encontradas nas Unidades Territoriais de Análise adotadas.

❖ 3º Passo - Determinação do indicador IVCH:

De posse dos valores da área da UTA (S_{UTA}), e da área de vulnerabilidade ponderada (S_{VP}), calcula-se o indicador conforme a expressão (19).

7.1.3.1.6 Interpretação do indicador IVCH

A interpretação do indicador, Índice de Vulnerabilidade à Contaminação Hídrica é bastante simples, pois, o IVCH indica a proporção da ocorrência ponderada de áreas consideradas vulneráveis à contaminação química dos recursos hídricos na Unidade Territorial de Análise, em consideração. O IVCH constitui um indicador de estado, relacionado à fragilidade natural do sistema hidrológico no âmbito da UTA, portanto destina-se a avaliar a sensibilidade ambiental não sendo apropriado para realização de monitoramento ambiental.

Como uma razão entre áreas o indicador IVCH, é adimensional, e pode ser normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq IVCH \leq 1$. A interpretação do IVCH é baseada nos seguintes critérios:

- $IVCH = 0,0$ - Essa condição ocorre quando: $S_{VP} = 0,0$. Significa que a UTA não possui nenhuma das 3 classes vulneráveis à contaminação dos recursos hídricos de acordo com os critérios estabelecidos. Constitui um valor referencial de ausência de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos na UTA considerada;
- $IVCH = 1,0$ - Essa condição ocorre quando: $S_{VP} = S_{UTA}$. Significa que a área inteira da UTA é constituída com a classe de máxima vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos de acordo com os critérios estabelecidos. Constitui um valor crítico, indicando máxima vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos na UTA considerada;
- $0 \leq IVCH \leq 1$ - Essa condição ocorre quando: $S_{VP} = S_{UTA}$. Significa que a UTA possui uma combinação das 3 classes de vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos de acordo com os critérios estabelecidos, cuja grandeza revela a proporção ponderada de ocorrência das áreas consideradas vulneráveis. Constituem valores intermediários de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos na UTA considerada;

7.1.3.1.7 Considerações sobre o indicador IVCH

Por se tratar de um sistema complexo com múltiplos fatores intervenientes, num sistema hidrológico, a vulnerabilidade dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos encontra-se relacionada com as características naturais da bacia hidrográfica em consideração, como: a constituição geológica, a topografia e a conformação geomorfológica, os tipos e distribuição dos solos, o uso e a cobertura dos solos, dentre outras. Por esta razão as metodologias e modelos que buscam estabelecer a vulnerabilidade ambiental se baseiam nas relações de variáveis qualitativas ou quantitativas descritoras dos subsistemas que interferem no sistema hidrológico, gerando na maioria dos casos, como é o caso da metodologia utilizada por este trabalho um mapa temático qualitativo representando os níveis de vulnerabilidade conforme os critérios estabelecidos. Sendo assim, deve-se manter em mente que para a correta

interpretação do referido indicador se faz necessidade explicitar os princípios da metodologia adotada na ocasião da veiculação dos indicadores.

Em relação à interpretação do IVCH deve-se ter o cuidado de não associar o valor do índice a uma relação proporcional ou percentual entre áreas, visto que, o parâmetro utilizado para estabelecer a área de vulnerabilidade ponderada (S_{VP}) foi, conforme exposto, a média ponderada das áreas das classes de vulnerabilidade o que não corresponde à extensão real da área vulnerável na UTA considerada. Portanto, o indicador IVCH não pode ser expresso em percentagem.

7.1.3.1.8 Conclusões sobre o indicador IVCH

O indicador, Índice Vulnerabilidade à Contaminação Hídrica, ao responde a questão-chave: Qual é o risco de contaminação dos recursos hídricos por causa da expansão da cultura canavieira?- adquire importância incontestável para o planejamento territorial ou setorial nos níveis estratégico e tático.

7.1.3.2 Índice de Área Limite de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira (IALE)

7.1.3.2.1 Justificativa do indicador IALE

O regime hidrológico de uma bacia hidrográfica pode ser representado pelo regime fluviométrico de seu curso fluvial que é caracterizado pela variação da sua vazão ao longo do tempo. O comportamento das vazões é, fundamentalmente, dependente dos eventos pluviométricos e, intrinsecamente, influenciado pelas condições físicas próprias da bacia que condicionam a partição dos volumes precipitados e os fluxos por ela drenados. Dentre os efeitos do antropismo sobre as condições físico-bióticas das bacias, a supressão ou mudança extensiva da cobertura vegetal sobre os solos constituem o principal fator de alteração das condições de drenagem e escoamento de uma bacia que acabam por comprometer a oferta hídrica (FERREIRA, 2007). A expansão das fronteiras agrícolas produzem alterações significativas na paisagem e na superfície e cobertura dos solos em grande escala. A alteração

da cobertura vegetal dos solos de uma bacia influencia diretamente o padrão de escoamento, gerando impactos no regime hidrológico que podem ser caracterizados conforme os efeitos que provocam no comportamento das vazões máximas, médias e mínimas de uma bacia hidrográfica (TUCCI e CLARKE, 1997). Assim, diversos coeficientes entre vazões características extremas, como as vazões de permanência de enchente ($Q_{5\%}$) e de estiagem ($Q_{95\%}$) com a vazão média do rio são utilizados para caracterizar o regime hidrológico de uma dada bacia (FERREIRA, 2007).

Neste sentido, uma questão, ao mesmo tempo, de interesse da pesquisa científica quanto, de ordem prática, importante para a gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica seria a questão-chave: Qual a área máxima que uma determinada cultura agrícola poderia ocupar sem alterar a produção de água em uma dada bacia hidrográfica?

Considerando o exposto e a necessidade de responder a questão-chave posta, a utilização de um modelo hidrológico que pudesse correlacionar a variação das vazões características e dos indicadores hidrológicos em função da simulação da expansão da área de uma dada tipologia vegetal, poderia auxiliar na determinação de um limite, considerado um ponto crítico, em relação à área máxima de expansão da cobertura vegetal, a partir da qual os parâmetros hidrológicos indicassem uma condição de risco ou de virtual comprometimento da oferta hídrica da bacia. O estabelecimento deste limite referencial, aqui conceituado como “*área limite de expansão sustentável*” poderia ser de grande valia para a determinação de um indicador deste derivado, posto para responde a questão-chave explicitada.

Propõe-se então, o indicador *Índice de Área de Expansão Sustentável para a Cultura Canavieira*, cujo conceito fundamental é bastante simples, posto trata-se de uma relação entre áreas. Entre a área conceituada como *área limite de expansão sustentável* e a *área total da bacia hidrográfica*, em consideração. Entretanto, como pôde ser apreendido, a aplicação deste indicador é dependente de um método para a determinação da *área limite de expansão* o que, não constitui uma tarefa simples para ser realizada com suficiente rigor científico, exigindo provavelmente uma modelagem mais complexa que possa embasar esta proposição. Contudo, considerando a hipótese de se ter estabelecido um método confiável para a determinação da *área limite de expansão sustentável*, com aproximação satisfatória, o indicador IALE teria a sua proposição justificada, pois, consistiria em um indicador de real utilidade para a avaliação das condições de sustentabilidade hídrico-hidrológica de uma bacia em função da expansão de uma atividade agroeconômica com anunciado potencial de transformação da paisagem.

7.1.3.2.2 Objetivo do indicador IALE

O objetivo do indicador, Índice de Área Limite de Expansão Sustentada é fornecer para o analista do nível tático a indicação do limite, em termos de área relativa, da área máxima que a cultura canavieira poderá ocupar na bacia hidrográfica sem alterar o regime hidrológico da mesma. A condição “sem alterar o regime hidrológico da bacia” deve ser entendida como um limite nítido da quebra da estacionariedade dos padrões sazonais das variáveis descritivas do regime hidrológico a ponto de comprometer ou por em risco a produção de água da bacia.

O indicador IALE, assim, objetiva responder as questões-chave:

- *Qual a área máxima que a cultura canavieira poderá ocupar sem alterar a produção de água na bacia hidrográfica?*

7.1.3.2.3 Descrição conceitual do indicador IALE

O indicador IALE estabelece a relação da área limite de expansão sustentável da cultura canavieira, num dado momento, com área da UTA (bacia hidrográfica). A área limite de expansão sustentável é estabelecida com base no conceito da relação da alteração das condições hidrológicas de uma bacia hidrográfica com a mudança extensiva do uso e cobertura do solo da mesma.

7.1.3.2.4 Descrição formal do indicador IALE

O indicador, Índice de Área Limite de Expansão Sustentável, é determinado calculando-se a razão entre a área limite de expansão sustentável da cultura canavieira e a área da UTA (bacia hidrográfica), dado pela seguinte expressão:

$$IALE = S_{LES} / S_{UTA} \quad (24)$$

Ou na forma de percentagem,

$$IALE = (S_{LES} / S_{UTA})100 \quad (25)$$

Onde,

IALE = Índice de Área Limite de Expansão Sustentável (adimensional);

SLES = Área Limite de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira (ha);

SUTA = Área da Unidade Territorial de Análise (UTA) (ha); Corresponde à área da bacia hidrográfica ou seção desta, em apreço.

7.1.3.2.5 Determinação passo-a-passo dos indicadores IALE

Para se determinar o indicador IALE os seguintes passos são necessários:

❖ **1º Passo - Determinação da área Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}):**

A área total da Unidade Territorial de Análise pode ser obtida diretamente de fontes secundárias ou determinada por geoprocessamento em ambiente SIG* a partir da base cartográfica adotada;

❖ **2º Passo - Determinação da área limite de expansão sustentável (S_{LES}):**

Para se determinar a área limite de expansão sustentável (S_{LES}) deve-se adotar e/ou desenvolver um método especialmente para a estimativa deste dado. Este assunto será objeto das considerações, no final deste item.

❖ **3º Passo - Determinação do indicador IALE:**

Tendo sido conhecidas as áreas: (i) área da área Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}); (ii) área limite de expansão sustentável (S_{LES}) - calcula-se o indicador conforme a expressão (24).

7.1.3.2.6 Fonte de dados e informações do indicador IALE

Diversas fontes podem ser consultadas para a obtenção dos dados e informações necessários para a determinação do ICRH. Dados já calculados das vazões características utilizadas como referência para as estimativas da oferta hídrica total, vazão remanescente, vazões médias, etc, podem ser obtidos diretamente, ou, podem ser calculados a partir da série histórica de dados fluviométricos disponibilizados nas: Agências Setoriais Reguladoras, como a ANA (Portal Hidroweb); Agências ou Secretarias de Estado; Concessionárias de serviços públicos, dentre outras. Fontes adicionais como: os bancos de dados de Institutos de Pesquisa e Universidades; Comitês de Bacia Hidrográfica, Empresas prestadoras de serviço ou, ainda,

relatórios diversos de diagnósticos de impacto ambiental para licenciamento de empreendimentos, Relatório de Conjuntura da ANA, publicados desde 2008, etc. Os dados referentes às demandas e consumo efetivo encontram-se em publicações, censos e amostragens do IBGE e nos cadastros nacional e estaduais de usuários de recursos hídricos.

7.1.3.2.7 Interpretação do indicador IALE

O Índice de Área Limite de Expansão Sustentável consiste em um indicador que relaciona a área limite para a expansão da cultura canavieira de modo sustentável com a área total da bacia hidrográfica, tomada como UTA de interesse. O indicador sinaliza o potencial e o limite para a expansão para a atividade canavieira, considerando a manutenção das condições de estabilidade da oferta hídrica da bacia hidrográfica. Portanto o IALE indica constitui um indicador da potencialidade de expansão sustentável para a cultura canavieira.

Como uma razão entre áreas, o indicador IALE é adimensional, e pode ser apresentado como percentagem (25) ou normalizado, variando no intervalo: $0 \leq \text{IALE} \leq 1$. A interpretação do indicador IALE é baseada nos seguintes critérios:

- $\text{IALE} = 0,0$ (0% S_{UTA}). Essa condição ocorre quando: $S_{\text{LES}} = 0,0$. Significa que a UTA (bacia) não apresenta nenhuma área para a expansão da cultura da canavieira de modo sustentável. Significa, desta forma, que a UTA (bacia) não possui potencial para a cultura canavieira se expandir de forma sustentável;
- $0 < \text{IALE} < 1$ ($x\%$ S_{UTA}). Essa condição ocorre quando: $S_{\text{LES}} < S_{\text{UTA}}$. Significa que a UTA (bacia) apresenta área parcial para a cultura canavieira se expandir de modo sustentável, cuja grandeza do valor indica a proporção da área de expansão sustentável na UTA ou bacia considerada. Significa, ainda, que a UTA (bacia) possui potencial, em proporções intermediárias, para a cultura canavieira se expandir de forma sustentável;
- $\text{IALE} = 1,0$ (100% S_{UTA}). Essa condição ocorre quando: $S_{\text{LES}} = S_{\text{UTA}}$. Significa que a UTA (bacia) apresenta área integral para a cultura canavieira se expandir de modo sustentável. Significa, portanto, que a UTA (bacia) possui pleno potencial para a expansão sustentável da cultura canavieira;

7.1.3.2.8 Considerações sobre o indicador IALE

Considerando o exposto sobre a complexidade para se determinar com suficiente rigor científico a *área limite de expansão sustentável* em diferentes bacias hidrográficas a aplicação do indicador IALE fica na dependência do desenvolvimento metodológico para se estimar este dado.

7.1.3.2.9 Conclusões sobre o indicador IALE

O indicador, Índice de Área de Expansão Sustentável para a Cultura Canavieira, responde a questão-chave: *Qual a área máxima que a cultura canavieira poderá ocupar sem alterar a produção de água na bacia hidrográfica?*

Assim, o IALE constitui um indicador do potencial de expansão sustentável para a cultura canavieira na UTA considerada e, portanto, constitui um indicador relevante para avaliação do potencial de desenvolvimento sustentável.

7.1.3.3 Indicadores da Categoria 3 e aplicação no SISH-Cana

De forma sumarizada, o Quadro 12 apresenta os indicadores do grupo 3 com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 12 - Categoria 3: Indicadores da vulnerabilidade dos mananciais hídricos e da susceptibilidade da produção hídrica da bacia

INDICADORES	FÓRMULAS
IVCH - Índice de Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos	$IVCH = S_{VP}/S_{UTA}$
IALE - Índice de Área Limite de Expansão sustentável	$IALE = S_{LES} / S_{UTA}$

Nota: (i) SLES = Área Limite de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira; (ii) SVP = Área de vulnerabilidade hídrica ponderada; (iii) SUTA = Área da Unidade Territorial de Análise (UTA).

Os indicadores da categoria 3: IVCH e IALE são orientados para a avaliação do potencial de desenvolvimento UTAs (bacia) para a atividade canavieira. O índice IALE se

aplica exclusivamente ao Módulo 2A da Parte 2 do SISH-Cana , orientado ao nível tático do planejamento setorial. Enquanto o indicador IVCH se aplica aos Módulos 1A e 2B do Sistema. Os índices da categoria 3 integram os indicadores do SISH-Cana, nas seguintes posições (Figura 11)

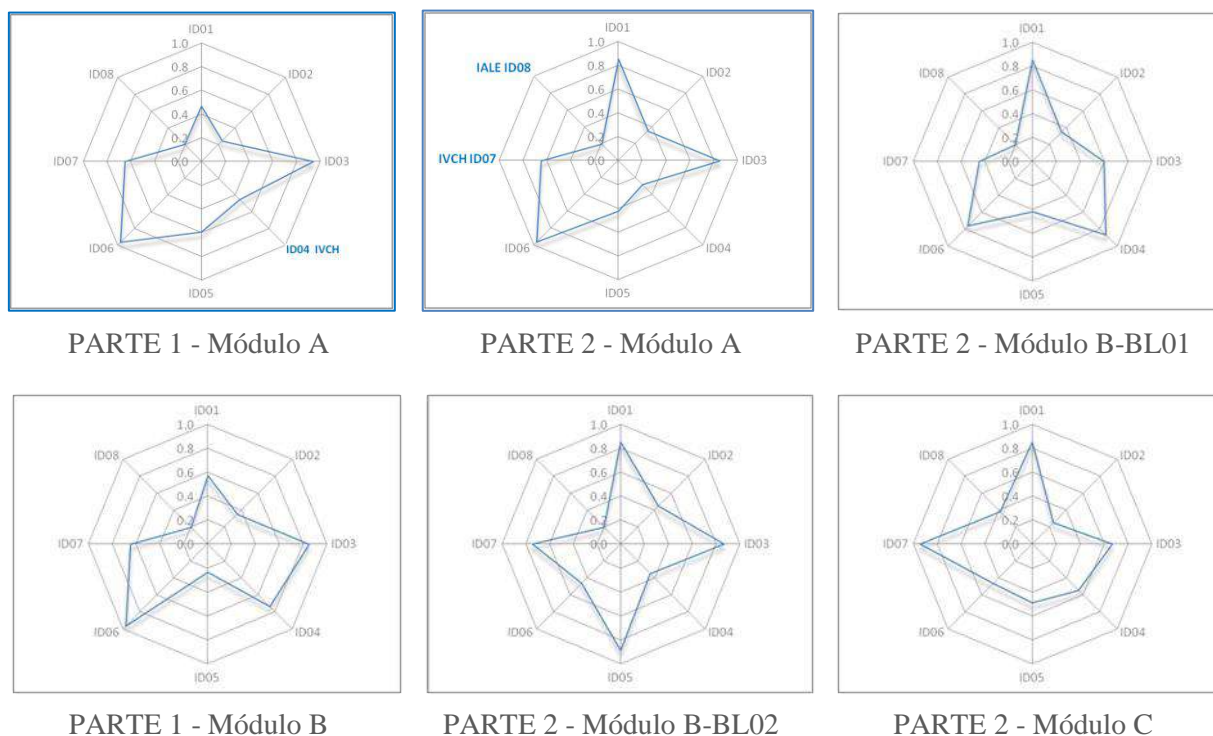


Figura 11 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 3: IVCH e IALE.

Nota: (i) PARTE 1-Nível Estratégico; (ii) PARTE 2-Nível Tático; (iii) Módulo 1A: Indicadores de potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canavieira nas UTAs ; (iv) Módulo 1B: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; (v) Módulo 2A: Indicadores do potencial da bacia para o desenvolvimento da atividade canavieira; (vi) Módulo 2B-BL01: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de irrigação compulsória; (vii) Módulo 2B-BL02: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de sequeiro; (viii) Módulo 2C: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira.

7.1.4 Categoria 4. Indicadores da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira

7.1.4.1 Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável (IDHA)

7.1.4.1.1 Justificativa do Indicador IDHA

Conhecer o potencial hídrico de uma bacia hidrográfica é prioritário e imprescindível para qualquer tipo de planejamento ou processo de gestão dos recursos hídricos. Como discutido anteriormente a estimativa da quantidade de água disponível ou a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica de interesse pode ser obtida ou estimada por diferentes indicadores. A primeira abordagem em relação à disponibilidade hídrica de uma bacia, diz respeito à verificação da quantidade de água disponível dos caudais fluviais. Em termos práticos é necessário saber quanta água está disponível para alocação direta do canal fluvial no ponto observado.

No nível tático do planejamento se faz necessário maior precisão, logo, entende-se como disponibilidade hídrica o volume de água realmente “disponível”. Ou seja, é o volume de água que, efetivamente, sobra após descontar da oferta hídrica total o consumo já estabelecido, e por isso pode-se alocar para os demais usos planejados.

Portanto, para a avaliação do potencial hídrico de uma bacia hidrográfica o primeiro indicador importante é aquele que informa sobre a disponibilidade hídrica alocável que corresponde ao saldo do balanço entre a oferta hídrica superficial e a demanda de uso da água já estabelecida na bacia em apreço. Isto posto, justifica-se a adoção de um indicador da disponibilidade hídrica alocável de uma bacia hidrográfica.

Um indicador de disponibilidade hídrica alocável, interessante, foi apresentado por Maranhão (2007) com o nome de “*Disponibilidade hídrica alocável*” e compõe um dos indicadores de disponibilidade de água do sistema SINPLAGE por ele proposto. É um indicador que revela a proporção da Oferta Hídrica Total*, ainda disponível após descontar a demanda hídrica já estabelecida que corresponde ao somatório de todos os usos consuntivos realizados na seção de controle ou a montante desta.

Assim, adotou-se, para compor o SISH-CANA, o mesmo indicador conceitualmente definido por Maranhão (2007), tendo sido, entretanto, renomeado para *Índice de disponibilidade hídrica alocável*. Além disso, está sendo proposto, uma adaptação do indicador, em relação à forma como foi proposto por Maranhão (2007), uma vez que, considerou-se, além do somatório de todos os usos de água cadastrados, uma vazão mínima remanescente estabelecida por critérios legais conforme o Comitê de Bacia da bacia em apreço ou, na ausência deste, algum critério técnico explícito.

7.1.4.1.2 Objetivo do Indicador IDHA

O indicador *Índice de disponibilidade hídrica alocável* visa informar qual é a quantidade relativa de água efetivamente existente no ponto monitorado ou em uma bacia hidrográfica. O objetivo do indicador é responder a questão-chave:

- *Qual é a quantidade de água disponível por alocação direta dos mananciais hídricos de superfície para o atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?*

Considera-se assim, um indicador de valor crucial para a gestão ou planejamento dos recursos hídricos no nível tático.

7.1.4.1.3 Descrição conceitual do indicador IDHA

O indicador *Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável* (IDHA) estabelece a disponibilidade hídrica relativa à oferta hídrica total (superficial) a partir do saldo do balanço entre a oferta hídrica total (superficial) passível de ser alocada e o somatório de todos os usos, considerando-se ainda uma vazão mínima remanescente.

7.1.4.1.4 Descrição formal do indicador IDHA

O IDHA é determinado pela razão entre a diferença da oferta hídrica total (superficial) e o somatório de todos os usos mais a vazão remanescente e a oferta hídrica total (superficial) em relação à seção de controle fluviométrico em apreciação. Desta forma é determinado pela seguinte relação:

Fórmula geral

$$IDHA = (OHT_E - CHT) / OHT_E \quad (26)$$

Ou

$$IDHA = ({}^{1/x}Q_{95} - \Sigma Q_{UC}) / ({}^{1/x}Q_{95}) \quad (27)$$

Ou na forma de percentagem,

$$IDHA = [({}^{1/x}Q_{95} - \Sigma Q_{UC}) / ({}^{1/x}Q_{95})]100 \quad (28)$$

Onde,

IDHA = Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável (adimensional);

OHTE = Oferta Hídrica Total Efetiva na seção considerada (m³.s-1);

CHT = Consumo Hídrico Total (m³.s-1);

OHTE = Q₉₅ = Fração da vazão com 95% de permanência (m³.s-1);

CHT = ΣQUC = Somatório das vazões consumidas (m³.s-1);

7.1.4.1.5 Determinação do indicador IDHA

Para a determinação do indicador *Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável*, três passos são necessários:

❖ **1º passo - Estimar a Oferta Hídrica Total (OHT):**

Conforme afirma Maranhão (2007) a adoção da vazão natural média como representação da disponibilidade hídrica mascara as variações sazonais e as interanuais do regime de vazões. Logo, a disponibilidade hídrica total, aqui considerada como oferta hídrica total (OHT) constitui, conforme definido por Maranhão (2007), todo o volume de água que uma determinada bacia ou área de contribuição desta pode ofertar numa dada seção do rio, com 95% de permanência, desconsiderando-se quaisquer retiradas de água na seção considerada ou a montante dela. Ou seja, é o volume total de água potencialmente ofertado sem descontar os volumes retirados para atender os seus diversos usos. Neste caso, a oferta hídrica total foi definida como a vazão da série de vazões naturais com uma permanência de 95% do tempo (Q₉₅), determinada a partir da curva de permanência de vazões a partir dos dados hidrométricos, representativos da seção do rio em estudo (SEARCY, 1959; COLE *et al.*, 2003; ambos, *apud* MARANHÃO, 2007).

Nos rios cujas vazões naturais sofrem transformações por regularização a oferta hídrica total (OHT) foi definida por Maranhão (2007) como o somatório entre a vazão regularizada com 100% de garantia pelo sistema de reservatórios situado a montante da seção do rio em apreciação (Q_{REG}) e a vazão incremental do trecho não regularizado da bacia a montante da citada seção, com permanência de 95% (Q_{95INC}).

A Oferta Hídrica Total corresponde à estimativa da Q₉₅ que, conforme definido, é a vazão da série de vazões naturais com uma permanência de 95% do tempo, determinada a partir da curva de permanência de vazões a partir dos dados hidrométricos da seção em apreciação. A Q₉₅ é uma medida do comportamento de estiagem da bacia, correspondendo deste modo a um valor mínimo de vazão permanente 95% do tempo. Significa dizer que, a análise de frequência garante que esta vazão permanece 95% do tempo e, por isso, a Q₉₅

constitui um parâmetro mais seguro para a estimativa da oferta hídrica natural. Evidentemente, outros pontos da curva de permanência representativos das condições de mínimas também podem ser usados como, as vazões Q90 ou Q98 também usualmente utilizadas, de acordo com a disponibilidade de informações ou propósitos declarados. No caso de rios regularizados a montante da seção de interesse, como já enunciado, deve-se considerar a expressão $Q_{REG} + Q_{95INC}$, onde parte da vazão está 100% garantida e a outra corresponde à vazão incremental com 95% de permanência. As curvas de permanência são normalmente fornecidas ou pode-se determiná-las a partir das series históricas de dados fluviométricos. Entretanto, como salienta Maranhão (2007), na medida em que esses valores não sejam conhecidos ou que os dados não estejam disponíveis pode-se considerar a OHT como uma fração de outras variáveis que representam o comportamento médio do regime de vazão como, a vazão média de longo período (Q_{mlp}).

Assim, segundo Maranhão (2007) a oferta hídrica total em uma seção qualquer da bacia é dada por:

Para os rios não regularizados,

$$OHT = Q_{95} \quad (29)$$

Para os rios com regularização a montante do ponto considerado,

$$OHT = Q_{REG} + Q_{95INC} \quad (30)$$

Onde,

OHT = Oferta Hídrica Total na seção considerada ($m^3 \cdot s^{-1}$);

Q95 = vazão com 95% de permanência ($m^3 \cdot s^{-1}$);

Q_{REG} = vazão regularizada com 100% de garantia ($m^3 \cdot s^{-1}$);

Q_{95INC} = vazão incremental com 95% de permanência ($m^3 \cdot s^{-1}$).

Observa-se que para a estimativa da Disponibilidade Hídrica Alocável de modo mais acurada deve-se também levar em consideração a *vazão remanescente ou ecológica*, definida como um valor mínimo de vazão que deve ser mantido no corpo hídrico após ter sido contabilizado todas as retiradas de água. Portanto, o presente trabalho propõe considerar a *vazão remanescente ou ecológica* no balanço entre a Oferta Hídrica Total e os Usos Consuntivos da água para a estimativa da Disponibilidade Hídrica Alocável.

Preferencialmente, devem ser considerados os valores de referência estabelecidos pelos agentes reguladores como, por exemplo, a ANA, Secretarias de Estado ou Comitês de Bacia. Caso os tenham estabelecido. Caso contrário, pode-se lançar mão de algum critério razoável para a estimativa da vazão remanescente.

Este trabalho destaca como o mais adequado para a presente aplicação o estabelecimento de uma fração da Q95 que foi, justamente, a vazão característica preconizada para a estimativa da Oferta Hídrica Total. Sendo assim, a expressão para a estimativa da Q_{REM} é dada por:

$$Q_{REM} = 1/x Q95 \quad (31)$$

Onde,

Q_{REM} = Vazão remanescente ($m^3 \cdot s^{-1}$);

Q95 = Vazão com 95% de permanência ($m^3 \cdot s^{-1}$);

($1/x$) Fração da vazão de permanência referente à vazão remanescente ($m^3 \cdot s^{-1}$).

Desta forma o presente trabalho propõe a conceituação da Oferta Hídrica Total Efetiva (OHT_E) definida como sendo uma fração da vazão da série de vazões naturais com uma permanência de 95% do tempo (Q95), determinada a partir da curva de permanência de vazões a partir dos dados hidrométricos, representativos da seção do rio em apreço. A Oferta Hídrica Total Efetiva (OHT_E) é dada pelas seguintes expressões:

$$OHT_E = OHT - Q_{REM} \quad (32)$$

Para os rios não regularizados,

$$OHT_E = Q95 - (1/x Q95) \quad (33)$$

Para os rios com regularização a montante do ponto considerado,

$$OHT_E = Q_{REG} + (1/x Q95_{INC}) \quad (34)$$

Onde,

OHT_E = Oferta Hídrica Total na seção considerada descontada a vazão remanescente

OHT = Oferta Hídrica Total na seção considerada ($m^3 \cdot s^{-1}$);

Q_{REM} = Vazão remanescente ($m^3 \cdot s^{-1}$);

Q95 = vazão com 95% de permanência ($m^3 \cdot s^{-1}$);

Q_{REG} = vazão regularizada com 100% de garantia ($m^3 \cdot s^{-1}$);

$Q95_{INC}$ = vazão incremental com 95% de permanência ($m^3 \cdot s^{-1}$);

($1/x$) Fração da vazão de permanência referente à vazão remanescente ($m^3 \cdot s^{-1}$).

Observa-se ainda que, no caso da inexistência de dados fluviométricos coletados na bacia em avaliação recomenda-se a regionalização das vazões para a área desejada (Q95 ou outra variável adequada para a estimativa da OHT). A regionalização hidrológica tem sido recorrentemente empregada para a avaliação do comportamento do regime de vazões em diferentes bacias hidrográficas. Consistem em técnicas de extrapolação espacial de variáveis, índices ou funções hidrológicas, estimados a partir de dados de outras bacias, próximas e similares conforme tratado no tópico “Fundamentação Teórica” deste ítem.

❖ **2º Passo: Somatório das vazões consumidas (ΣQUC)**

Para a estimativa das vazões consumidas deve-se fazer o somatório das vazões de uso consuntivo de água cadastrados a montante da seção que podem ser obtidas em inventários de consumos de água na bacia. Ou na ausência dos dados de vazões de consumo, pode-se também utilizar dados sobre as retiradas totais, que são todas as extrações feitas na seção ou montante desta, subtraídos dos retornos totais que correspondem aos volumes hídricos restituídos ao corpo hídrico em questão, conforme as expressões a seguir:

$$\Sigma Q_{UC} = \text{Somatório das vazões consuntivas} \quad (35)$$

ou

$$\Sigma Q_{UC} = \Sigma Q_{RET} - \Sigma Q_{RES} \quad (36)$$

Onde,

ΣQ_{UC} = Somatório das vazões consumidas ($m^3.s^{-1}$);

ΣQ_{RET} = Somatório das vazões retiradas ($m^3.s^{-1}$);

ΣQ_{RES} = Somatório das vazões restituídas ($m^3.s^{-1}$).

❖ **3º Passo: Calcular o Indicador: Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável (IDHA):**

Calcular o indicador IDHA conforme a expressão (26) anteriormente apresentada.

7.1.4.1.6 Fontes de dados e informações para o Indicador IDHA

Diversas fontes podem ser consultadas para a obtenção dos dados e informações necessários para a determinação do ICRH. Dados já calculados das vazões características utilizadas como referência para as estimativas da oferta hídrica total, vazão remanescente, vazões médias, etc, podem ser obtidos diretamente, ou, podem ser calculados a partir da série histórica de dados fluviométricos disponibilizados nas: Agências Setoriais Reguladoras, como a ANA (Portal Hidroweb); Agências ou Secretarias de Estado; Concessionárias de serviços públicos, dentre outras. Fontes adicionais como: os bancos de dados de Institutos de Pesquisa e Universidades; Comitês de Bacia Hidrográfica, Empresas prestadoras de serviço ou, ainda, relatórios diversos de diagnósticos de impacto ambiental para licenciamento de empreendimentos, Relatório de Conjuntura da ANA, publicados desde 2008, etc. Os dados

referentes às demandas e consumo efetivo encontram-se em publicações, censos e amostragens do IBGE e nos cadastros nacional e estaduais de usuários de recursos hídricos.

7.1.4.1.7 Interpretação do indicador IDHA

A interpretação do indicador *Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável (IDHA)*, é bastante simples, pois, o IDHA indica de forma direta a proporção dos volumes de água que ainda estão disponíveis em relação à oferta hídrica total da bacia ou subseção da mesma. O IDHA constitui um indicador de estado, relacionado ao potencial de produção de água da bacia em apreço. Revela o nível de uso dos recursos hídricos superficiais e o quanto ainda pode ser usado para os diversos fins. Como uma razão entre grandezas iguais o indicador IDHA é adimensional e pode ser expresso em percentagem (28) ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq \text{IDHA} \leq 1$.

A interpretação do IDHA é baseada nos seguintes critérios:

- IDHA = 1,0 (100% da OHT_E): Essa condição ocorre quando: $\Sigma Q_{UC} = 0,0$ (zero). Significa total disponibilidade da água produzida na bacia ou seção considerada para o atendimento das demandas futuras;
- IDHA = 0,0 (zero) (0% da OHT_E): Essa condição ocorre quando: $\Sigma Q_{UC} = \text{OHT}_E$. Significa ausência de disponibilidade de água para demandas extras na bacia ou seção considerada. Representa, portanto, um valor crítico, pois, indica saturação de uso dos mananciais de superfície e impossibilidade de novas alocações;
- $0 \leq \text{IDHA} < 1$ (x% da OHT_E): Essa condição ocorre quando $\Sigma Q_{UC} < \text{OHT}_E$. Significa que ainda há disponibilidade de água para demandas extras na bacia ou seção considerada, cuja grandeza indica o quanto ainda poderá ser utilizado;

7.1.4.1.8 Considerações sobre o indicador IDHA

O indicador IDHA permite acompanhar ao longo do tempo, as variações da disponibilidade hídrica alocável nos diferentes pontos da bacia cujas seções sejam monitoradas por estações fluviométricas. Segundo Maranhão (2007) o indicador substitui com

vantagens outros indicadores menos abrangentes, baseados como as vazões características: Q_{mlt} , Q_{95} , dentre outras. Ou, outros indicadores baseados nas estimativas de retiradas de águas superficiais, derivações e transposições, etc. O IDHA evidencia os quantitativos de água consumidos e o quanto ainda se pode contar para atendimento da demanda potencial.

7.1.4.1.9 Conclusões sobre o indicador IDHA

O indicador - Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável - responde à primeira questão básica inerente a gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica: Qual é a quantidade de água disponível por alocação direta dos mananciais hídricos de superfície para o atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?

O IDHA constitui, portanto, um indicador de valor gerencial para o nível tático de grande importância, pois permite ao gestor ou analista ter a noção de o quanto de água ainda se pode contar na bacia hidrografia em questão para suprir a demanda potencial de novas atividades produtivas.

7.1.4.2 Índice de Capacidade de Reserva Hídrica (ICRH)

7.1.4.2.1 Justificativa do indicador ICRH

Como foi visto anteriormente, o indicador Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável (IDHA), fornece a proporção de água em relação à oferta hídrica total que ainda pode ser retirada diretamente do corpo hídrico para o atendimento de demandas potenciais durante o período anual. Foi visto, também, que o indicador IDHA, como forma de garantia, é estimado a partir da vazão com 95% de permanência (Q_{95}) interpretada como uma vazão de recessão, visto que este parâmetro constitui uma medida do comportamento de estiagem da bacia em consideração (TUCCI et al., 2004, MARANHÃO, 2007). Ou seja, constitui uma vazão mínima garantida em pelo menos 95% do tempo. Entretanto, este indicador não revela o potencial da disponibilidade de água excedente, produzida ao longo do ano devido à variabilidade do regime de vazão conforme a sazonalidade climática. Em outras palavras, não

fornece qualquer informação a respeito dos volumes de água produzidos nas estações de cheia que, potencialmente, poderiam ser regularizados ou extraídos e estocados em reservatórios para alocações futuras. Maranhão (2007) comparando diferentes bacias salientou que apenas usando o indicador “disponibilidade hídrica alocável” não é possível traduzir todo o cenário de disponibilidade hídrica de uma bacia. O autor cita ainda o exemplo da bacia do Rio Verde Grande na qual durante 50% do tempo as vazões são iguais ou maiores que a vazão média representada pela variável Q_{mlt} e enfatiza que se fosse possível dispor de regularização, a disponibilidade hídrica desta bacia poderia aumentar significativamente.

Sendo assim, para a gestão mais aprimorada dos recursos hídricos no nível tático, se faz necessário selecionar algum indicador que sinalize para a disponibilidade de produção de água excedente em relação à vazão de recessão (Q_{95}) que, potencialmente pode ser reservada aumentando assim a disponibilidade de água na bacia em apreciação.

De uma forma geral, indicadores do regime médio de vazão também podem ser interpretados como um estimador do potencial de regularização da bacia na seção considerada. Como, por exemplo, a vazão média de longo termo (Q_{mlt}) que, na prática, costuma ser limitado a 70% devido à necessidade de manutenção de uma vazão remanescente (MARANHÃO, 2007). Entretanto, as relações entre as estimativas de vazões médias e mínimas têm sido mais utilizadas para se estimar a ordem de grandeza do afastamento entre o comportamento do regime de vazões nas diferentes estações sazonais e, desta forma, prever o potencial de regularização da vazão de uma determinada bacia hidrográfica de interesse.

Assim, Maranhão (2007), apresenta um indicador baseado na relação entre a vazão média de longo termo (Q_{mlt}) e a oferta hídrica total (OHT) determinada como sendo a vazão de 95% de permanência (Q_{95}), indicando desta forma o afastamento entre o valor de Q_{mlt} e o de Q_{95} . Assim o indicador estima o quanto ainda pode ser acrescido à disponibilidade hídrica da bacia em apreço mediante intervenções de regularização de vazão ou extrações para acumulação em reservatórios. Esta relação, portanto revela o potencial de regularização de vazão ou reserva de volumes com base nos excedentes produzidos nos períodos de ascensão do regime hidrológico.

Tomando como base o indicador proposto por Maranhão (2007): “Relação entre Q_{mlt} e Disponibilidade Hídrica Total”; o presente trabalho propõe, conceitualmente, o mesmo indicador, adaptando apenas a estimativa da Oferta Hídrica Total como sendo uma fração da vazão de permanência de 95% (Q_{95}) para contemplar a manutenção e uma vazão mínima remanescente.

Para se tornar menos hermético e mais inteligível e explícito a aplicação do indicador, o presente trabalho propôs renomear o indicador para Índice de Capacidade de Reserva Hídrica (ICRH).

7.1.4.2.2 Objetivo do indicador ICRH

O objetivo do indicador Índice de Capacidade de Reserva Hídrica (ICRH) é prover ao analista a informação sobre o potencial ou capacidade de acumulação prévia de água em aproveitamento dos excedentes hídricos nos período de ascensão para atender as novas atividades produtivas na bacia ou seção em apreciação. O indicador ICRH objetiva responder a questão-chave posta:

- Qual é a quantidade de água que pode ser reservada por acumulação prévia na bacia para atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?

7.1.4.2.3 Descrição conceitual do indicador ICRH

Conceitualmente o ICHR é baseado na estimativa do nível relativo de afastamento entre duas vazões características, uma que representa a produção anual média de água da bacia e, outra, que representa a vazão mínima garantida em 95% do período, revelando assim a vazão passível de ser acumulada em reservatórios ou barramentos para uso posterior.

7.1.4.2.4 Descrição formal do indicador ICRH

O indicador ICRH estabelece a diferença entre a vazão média (Q_{mlt}) e a Oferta Hídrica Total Efetiva (OHT_E) e, em seguida, o normaliza em relação à vazão média (Q_{mlt}). O indicador, adaptado de Maranhão (2007), é dado por:

Formulação geral

$$ICRH = (PHM - OHT_E) / PHM \quad (37)$$

Formulação geral na forma de percentual

$$ICRH = [(PHM - OHT_E) / PHM] 100 \quad (38)$$

Para os rios não regularizados,

$$ICRH = [Q_{mlt} - (1/x Q_{95})] / Q_{mlt} \quad (39)$$

Para os rios com regularização a montante do ponto considerado,

$$ICRH = [(Q_{mlt} - (Q_{REG} + 1/x Q_{95INC}))] / Q_{mlt} \quad (40)$$

Onde,

ICRH = Índice de Capacidade de Reserva Hídrica (m3.s-1);

PHM = Potencial Hídrico Médio (m3.s-1). Constitui uma vazão característica utilizada para se estimar a produção média anual da bacia em apreço;

OHTE = Oferta Hídrica Total Efetiva na seção apreciada (m3.s-1);

PHM = Q_{mlt} = vazão média de longo termo (m3. s-1);

OHTE = 1/x Q₉₅ em rios sem regularização (m3. s-1);

OHTE = Q_{REG} + 1/x Q_{95INC} em rios com regularização a montante da seção considerada (m3. s-1);

OBS: Q_{REG}+Q_{95INC} = 100% vazão regularizada no ponto considerado acrescida da vazão incremental com 95% de permanência.

7.1.4.2.5 Determinação do indicador ICRH

Para a determinação do indicador *Índice de Capacidade de Reserva Hídrica*, três passos são necessários:

❖ *1º passo - Estimar a Oferta Hídrica Total Efetiva (OHT_E):*

A determinação do *Índice de Capacidade de Reserva Hídrica (ICRH)* é feita a partir das estimativas da Oferta Hídrica Total e a média das vazões (Q_{mlt}). Os valores de OHT são obtidos, para bacias sem regularização, a partir da Q₉₅ ou através do somatório da vazão regularizada mais a vazão incremental para aquelas com trechos regularizados a montante do ponto tomado (Q_{REG} + Q_{95INC}). Entretanto, como proposto anteriormente para a estimativa da disponibilidade hídrica alocável, o estimador da oferta hídrica total da bacia ou seção controlada proposta neste trabalho constitui uma fração da vazão de permanência de 95%, considerada como a Oferta Hídrica Total Efetiva (OHT_E = 1/x 95%). Assim a oferta hídrica total (OHT_E) constitui o volume de água que uma determinada bacia ou área de contribuição desta pode ofertar numa dada secção do rio, com 95% de permanência. Neste caso, a Oferta Hídrica Total Efetiva foi definida como uma fração da vazão da série de vazões naturais com

uma permanência de 95% do tempo (Q95), determinada a partir da curva de permanência de vazões a partir dos dados hidrométricos, representativos da seção do rio em estudo (*Adaptado de MARANHÃO, 2007*).

Assim, o passo-a-passo do procedimento e as formulações foram apresentados no item Determinação do indicador IDHA- 1º passo: Estimar a Oferta Hídrica Total (OHT) (pg 154).

❖ **2º Passo - Estimar ou obter a vazão média de longo termo (Q_{mlt}):**

A vazão média de longo termo (Q_{mlt}) corresponde à média aritmética das vazões naturais médias diárias observadas durante um período de tempo considerado suficientemente longo e representativo (MARANHÃO, 2007). Este valor pode ser calculado ou obtido diretamente dos bancos de dados referentes às estações fluviométricas consideradas, de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{mlt} = \sum Q_{ma} / n^{\circ} \text{ anos} \quad (41)$$

Onde,

Q_{mlt} = Vazão média de longo termo

$\sum Q_{ma}$ = Somatório das vazões médias anuais

Nº anos = número de anos da série utilizada

❖ **3º Passo: Calcular o indicador Índice de Capacidade de Reserva Hídrica ICRH:**

Uma vez obtendo-se a OHT_E e a Q_{mlt}, calcular o indicador *Índice de Capacidade de Reserva Hídrica* conforme a expressão (37).

7.1.4.2.6 Fontes de informações e dados para o indicador ICRH

Diversas fontes podem ser consultadas para a obtenção dos dados e informações necessários para a determinação do ICRH. Dados já calculados das vazões características utilizadas como referência para as estimativas da oferta hídrica total, vazão remanescente, vazões médias, etc, podem ser obtidos diretamente, ou, podem ser calculados a partir da série histórica de dados fluviométricos disponibilizados nas: Agências Setoriais Reguladoras, como a ANA (Portal Hidroweb); Agências ou Secretarias de Estado; Concessionárias de serviços públicos, dentre outras. Fontes adicionais como: os bancos de dados de Institutos de Pesquisa e Universidades; Comitês de Bacia Hidrográfica, Empresas prestadoras de serviço ou, ainda, relatórios diversos de diagnósticos de impacto ambiental para licenciamento de empreendimentos, Relatório de Conjuntura Hídrica da ANA, publicados a partir de 2008, etc.

7.1.4.2.7 Interpretação do indicador ICRH

A interpretação do *Índice de Capacidade de Reserva Hídrica* (ICRH) é direta, pois, o ICRH indica a proporção, em relação à média, da quantidade excedente de água produzida pela bacia além da oferta hídrica total efetiva com permanência de 95 %. O ICRH constitui um indicador de estado, relacionado ao potencial de produção de água da bacia em apreço além do mínimo garantido pela permanência de 95% descontado a fração desta relativa à vazão mínima remanescente ($Q_{REM} = 1/y Q_{95}$). Revela, portanto, o potencial de regularização ou reserva de água que a bacia pode produzir para atender aos diversos fins. Como uma razão entre grandezas iguais o indicador ICRH é adimensional e pode ser expresso em percentagem (38) ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 < ICRH < 1$.

A interpretação do ICRH é baseada nos seguintes critérios:

- $0 < ICRH < 1$ (x % da Q_{mlt}): Essa condição ocorre sempre, pois: $(Q_{mlt} - OHT_E) < Q_{mlt}$. A grandeza do valor do ICRH indica a margem de excedente de água que pode ser acrescida à disponibilidade de água por regularização de vazão ou estocagem em reservatórios;
- Observa-se que: $ICRH = 1,0$ ou $ICRH = 0,0$ (zero), embora matematicamente possível, são condições impossíveis do ponto de vista físico e/ou hidrológico. Visto que: $OHT_E \neq 0,0$ (zero) e $Q_{mlt} \neq OHT_E$, respectivamente.

7.1.4.2.8 Considerações sobre o indicador ICRH

Segundo (MARANHÃO, 2007), quando a bacia ou seção desta em avaliação não apresenta sua vazão regularizada, o indicador funciona como um sinalizador do potencial de regularização da vazão. Quando a bacia já apresenta sua vazão regularizada, o indicador informa o grau de regularização já alcançado, ou ainda, a capacidade de regularização que pode ser atingida. De qualquer forma o índice ICPH indica a capacidade ou o potencial de regularização da vazão por meio de barramento ou reserva de água por meio de extrações e acumulação em reservatórios *offstream**. Quando o ICRH apresenta valores muito baixos, significa que Q_{mlt} e OHT têm valores muito próximos, indicando que há pouca margem para regularização de vazões.

Além da indicação a respeito da disponibilidade no tocante ao potencial de acréscimo de água aos volumes alocáveis o indicador baseado na relação entre Q_{95} e a Q_{mlt} também informa sobre as características de escoamento da bacia hidrográfica. Pois, em bacias onde o substrato litológico* e as coberturas pedológicas* conferem maiores permeabilidades e taxas de infiltração, os valores das vazões Q_{95} e Q_{mlt} são menos distantes, uma vez que apresentam maior capacidade de regularização natural devido a maior participação dos aquíferos na descarga da mesma. (TUCCI 2004; MARANHÃO, 2007).

O indicador baseado na relação entre a vazão média (Q_{mlt}) e a oferta hídrica total (OHT), segundo de Maranhão (2007), responde à pergunta: *Quanta água se pode acrescentar às disponibilidades alocáveis momentâneas mediante a construção de reservatórios ou barragens que regularizem as vazões dos cursos d'água?* Ainda, segundo Maranhão (2007), essa pergunta se torna mais relevante quando a disponibilidade hídrica alocável, dado pelo indicador IDHA, é baixa e se aproxima de valores críticos, visto que para o atendimento de novas demandas seria essencial o acréscimo de volumes extras à disponibilidade hídrica alocável. Evitando desta forma, possíveis conflitos de uso devido à limitação eminente da disponibilidade da água.

7.1.4.2.9 Conclusões sobre o indicador ICRH

No presente trabalho, o indicador ICRH responde a questão-chave: Qual é a quantidade de água que pode ser reservada por acumulação prévia dos excedentes hídricos para atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?

Constitui um indicador de valor gerencial para o nível tático de grande importância, pois permite ao gestor ou analista ter a noção do quanto de água se pode contar a partir da construção de reservatórios e barragens para estoque de água visando o atendimento da demanda crescente causada pela expansão da cultura canavieira.

7.1.4.3 Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável (IDHE)

7.1.4.3.1 Fundamentação teórica

De acordo com Almeida *et al.* (2006), para se avaliar a capacidade de armazenamento dos aquíferos e se estimar a disponibilidade de água subterrânea deve-se considerar os diferentes compartimentos de água que constituem as reservas renováveis, permanentes e exploráveis. As reservas renováveis ou reguladoras constituem os volumes hídricos de rápida circulação de águas jovens que perpassam pelos aquíferos durante o ciclo anual, em geral, vinculados a fluxo hidrogeológico local. Desta, forma a reserva reguladora corresponde ao volume de água que transita anualmente pelo aquífero e é responsável pela manutenção do escoamento de base que alimenta os corpos hídricos superficiais de uma dada bacia hidrográfica. Feitosa (1997) define que a Reserva Renovável ou Reguladora constitui o volume hídrico acumulado no meio aquífero em função da porosidade eficaz e variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais. Com efeito, a reserva renovável ou reguladora da vazão de base de um sistema hidrológico pode ser entendida, em termos práticos, como um volume hídrico ou um fluxo a serem estimados, portanto, a unidade física para descrever a reserva renovável assume a dimensão de volume ou vazão (m^3/h , l/s , m^3/ano) (ALMEIDA *et al.*, 2006).

As reservas permanentes, por sua vez, constituem o volume hídrico de lenta circulação que ocupa a porosidade efetiva de um determinado corpo hidrogeológico abaixo do nível médio da superfície piezométrica ou freática. Essas águas, também chamadas de seculares, são mais antigas e mineralizadas e se encontram associadas aos sistemas de fluxo intermediário a regional (ALMEIDA *et al.*, 2006).

Tendo sido definido os diferentes compartimentos de água subterrânea referentes às reservas de água de rápida e longa circulação, respectivamente, reservas renováveis e permanentes, a questão se concentra na definição da quantidade de água proveniente dessas reservas passível de exploração, definindo assim o que se preconiza como reserva hídrica explorável. A expressão “explorável” pode embutir diversas noções de acordo com os diferentes autores que a definem. Para a maioria dos autores o termo embute a ideia de sustentabilidade como, por exemplo, para Almeida *et al.*, (2006), que define que as reservas exploráveis compõe o volume que pode ser retirado do aquífero sem causar danos irreversíveis aos reservatórios subterrâneos. Outros autores agregam a esta noção a ideia de que o termo “água explorável” também depende das características hidrogeológicas do aquífero, associadas a considerações particulares de viabilidade técnica e econômica dos possíveis sistemas de aproveitamento da água subterrânea. Desta maneira, a noção de “reserva explorável” assume um valor subjetivo e, cada autor o define segundo critérios particulares.

Seja como for, o importante no momento, é estabelecer uma definição explícita para “reserva explotável”, que possa ser balizadora dos critérios para a estimativa de água capaz de ser efetivamente explotada de forma sustentável em uma determinada unidade ambiental de interesse que, no caso, seriam as UTAs do sistema de indicadores em proposição.

Para Almeida et al. (2006) as reservas explotáveis compõe o volume de água que pode ser retirado e estimado a partir da soma da reserva renovável total com uma dada fração da reserva permanente. Segundo o autor, a fração percentual referente à reserva permanente pode variar entre zero e 20% do volume total, em função das características do sistema hidrogeológico considerando as suas condições gerais de circulação e recarga.

Entretanto, de maneira diferente, outros autores preconizam que a reserva explotável deva ser estimada como sendo apenas uma fração da reserva hídrica renovável, justamente, para não comprometer os volumes acumulados considerados como a reserva permanente de um dado sistema aquífero. Assim, Ramos e Paixão (1998) mencionam que as reservas reguladoras são relacionadas à precipitação anual ou às taxas de recarga dos aquíferos e, portanto, definem os recursos explotáveis, consideradas como a quantidade máxima de água que pode ser retirada sem comprometer as reservas permanentes. Para os autores, teoricamente, uma explotação hipotética cujo volume se iguale à recarga total do sistema influenciaria o regime de vazões mínimas do escoamento superficial e, por este motivo, admitem que os recursos explotáveis devam representar apenas uma parcela das reservas reguladoras, a fim de garantir a manutenção de uma vazão mínima nos cursos fluviais. Tendo em conta a necessidade manutenção de um fluxo de base de 70% da vazão mínima, um valor de referência muito encontrado na literatura específica para se determinar os “recursos explotáveis” corresponde a 30% do volume total das reservas reguladoras. De acordo com CPRM (1998 e 2000) o volume de água correspondente às reservas anuais renováveis ou reguladoras determina o potencial da reserva explotável que representa a disponibilidade hídrica subterrânea considerada útil que, por causa do equilíbrio hidráulico dos sistemas aquíferos, deveria situar-se entre 25 e 40% do volume total das reservas reguladoras.

Assumindo uma postura mais conservadora o presente trabalho adotou como critério para se estabelecer a Reserva Hídrica Explotável o valor do limite inferior preconizado pelo CPRM (1998). Assim sendo para todos os fins práticos deste trabalho a Reserva Hídrica Explotável corresponde a 25% da Reserva Hídrica Reguladora.

Para se estimar a Reserva Hídrica Reguladora dois princípios básicos norteiam os diferentes métodos de estimativa, normalmente, empregados. O primeiro princípio se baseia na avaliação da capacidade de recarga dos aquíferos para estimar os volumes que compõem as

reservas renováveis. O outro, opostamente, se baseia na descarga dos aquíferos, restituídas ao sistema de deflúvio superficial.

Considerando-se as características hidrogeológicas dos aquíferos a avaliação da recarga, normalmente, pode ser modelada com base no balanço hídrico ou hidrológico. Assim, a recarga dos aquíferos pode ser estimada através de diversas técnicas, onde são considerados diferentes variáveis, tais como: precipitação, taxa de evapotranspiração, taxas de infiltração, percentual de escoamento, compartimentação hidrogeológica, topografia da bacia, propriedades físico-hídrica dos solos, uso e cobertura do solo, dentre outras (ALMEIDA *et al.*, 2006). A eficácia da técnica a ser aplicada depende da disponibilidade de dados e da acurácia exigida por cada tipo de aplicação. No estudo intitulado “Hidrogeologia do Estado de Goiás” Almeida *et al.* (2006) realizaram um balanço hídrico a partir apenas de três variáveis de entrada do sistema de recarga. Assim, os autores, a partir da área de contribuição de recarga que corresponde à área aflorante de cada sistema aquífero, do conhecimento da precipitação média anual e das propriedades de infiltração dos regolitos ou das coberturas pedogenizadas, sotopostos aos aquíferos em avaliação, estimaram os volumes das reservas hídricas renováveis de cada sistema aquífero, por eles identificados.

Apesar dessa possibilidade, como salienta Feitosa (1997), muitos obstáculos ainda são encontrados para a estimativa das reservas renováveis em regiões onde o desconhecimento das propriedades hidrodinâmicas e da distribuição espacial dos sistemas aquíferos limitam, sobremaneira, a aplicação de muitos métodos hidrogeologicamente embasados.

Considerando a intrínseca relação existente entre as águas subterrâneas e as superficiais, em termos médios de longa duração observa-se certa proporcionalidade entre a recarga e a descarga de água de um aquífero livre. Vale dizer que, o escoamento de base dos rios pode ser adotado como valor da recarga/descarga dos aquíferos possibilitando desta forma a estimativa das reservas reguladoras ou renováveis de uma bacia hidrográfica. Deste modo, parâmetros hidrológicos podem ser utilizados para estimar o potencial dos mananciais subterrâneos, ou seja, a partir de medidas de vazões fluviométricas se torna possível se estimar a reserva renovável de uma dada área de contribuição hidrográfica.

Várias técnicas têm sido aplicadas para a estimativa da reserva reguladora com base no comportamento de recessão do regime hidrológico de uma bacia, dentre elas, destaca-se a análise das hidrógrafas ou do hidrograma de deflúvio total (superficial e subterrâneo) que consiste, com base na lei exponencial de esgotamento, na separação e estimativa do volume anual de água das reservas renováveis subterrâneas. De outra forma, como o armazenamento subterrâneo e a descarga natural de restituição dos aquíferos aos rios em condições de

efluência e déficit pluviométrico se relaciona com deflúvio de base durante o período de esgotamento ou recessão hidrológica, se torna possível também se estimar as reservas reguladoras a partir de variáveis características do período de recessão como, a vazão média mínima de 7 dias de duração com 10 anos de retorno ($Q_{7;10}$) a vazão média mínima de 7 dias de duração (Q_7), as vazões com 95, 98 ou x % de permanência (Q_{95} ; Q_{98} , Q_x), dentre outras.

7.1.4.3.2 Justificativa do indicador IDHE

Os mananciais subterrâneos correspondem, normalmente, a maior reserva de água disponível em uma bacia hidrográfica, sendo ainda, naturalmente, protegidos de variações sazonais bruscas. E, apesar do acesso não ser tão imediato quanto às alocações de corpos hídricos de superfície, as águas subterrâneas apresentam baixo custo de tratamento e distribuição o que torna, evidentemente, uma alternativa atraente de abastecimento para empreendimentos públicos e privados. Notadamente, no meio rural, onde as atividades econômicas, ou seja, as células de produção agropecuária encontram-se distribuídos no espaço e, por vezes, com limitado acesso ou distantes dos pontos de captação de água superficial, os recursos exploráveis se tornam uma opção a ser pensada como suprimento de água para a manutenção da produção.

Sendo assim, um sistema de indicadores orientado para a avaliação da sustentabilidade hídrica de uma atividade agrícola, como o Sistema ora proposto, necessita considerar, além da estimativa da disponibilidade hídrica alocável e potencial de acumulação de reservas de água dos mananciais de superfície, a estimativa da disponibilidade hídrica explorável relacionada ao potencial hídrico dos aquíferos da bacia em questão.

Considerando o exposto, justifica-se a adoção de um indicador para atender ao propósito explicitado. Neste particular, o indicador selecionado para compor o SISH-Cana foi o Índice de Disponibilidade Hídrica Explorável (IDHE).

7.1.4.3.3 Objetivo do indicador IDHE

O Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável visa informar sobre a disponibilidade relativa de água proveniente da reserva hídrica explotável. O índice IDHE objetiva responder a questão-chave:

- *Qual é a quantidade de água disponível dos mananciais hídricos subterrâneos para atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?*

7.1.4.3.4 Descrição conceitual do indicador IDHE

O indicador ora proposto mantém a mesma lógica do indicador Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável que foi adaptado do SINPLAGE proposto de Maranhão (2007), ou seja, também é baseado no balanço entre a oferta hídrica e os volumes hídricos consumidos. No caso em questão, o IDHE se baseia no balanço entre a reserva hídrica explotável dos aquíferos subterrâneos e o total de água explotada para o atendimento dos diversos usos da água já instalados na bacia hidrográfica ou seção desta em apreço. Definindo assim, a disponibilidade hídrica explotável capaz de atender a novas demandas relacionadas a novas atividades produtivas.

O indicador Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável (IDHE) estabelece a proporção da Reserva Hídrica Explotável Total que ainda está disponível para ser explotada após ter sido descontado o volume total de água já efetivamente explotado na bacia hidrográfica em apreciação. Sendo assim o Indicador DHE estabelece o quando ainda está disponível para os diversos usos em relação à Reserva Hídrica Explotável Total.

7.1.4.3.5 Descrição formal do indicador IDHE

A determinação do indicador Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável (IDHE) é dada pela razão da diferença entre os valores estimadores (volumes ou vazões) da Reserva Hídrica Explotável (RHE) e dos Totais Explotados (TE) sobre a Reserva Hídrica Explotável (RHE), conforme as expressões a seguir:

Formulação geral

$$IDHE = RHE - ET / RHE$$

(42)

Formulação geral na forma de percentual

$$IDHE = [(RHE - ET) / RHE] 100 \quad (43)$$

Ou, caso se trabalhe com vazões,

$$IDHE = (Q_{RHE} - \Sigma Q_{EXP}) / Q_{RHE} \quad (44)$$

Ou, caso se trabalhe com volumes,

$$IDHE = (V_{RHE} - \Sigma V_{EXP}) / V_{RHE} \quad (45)$$

Onde,

IDHE = Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável (adimensional);

RHE = Reserva Hídrica Explotável. Corresponde ao somatório de todo o volume (m^3) ou vazão da reserva hídrica explotável ($m^3 s^{-1}$) da bacia hidrográfica ou área de contribuição a montante da seção considerada;

ET = Explotação total. Corresponde ao somatório de todo o volume explotado (m^3) ou vazão de Explotação total ($m^3 s^{-1}$) da bacia hidrográfica ou área de contribuição a montante da seção considerada;

Q_{RHE} = Vazão da reserva hídrica explotável ($m^3 s^{-1}$);

ΣQ_{EXP} = Somatório das vazões explotadas ($m^3 s^{-1}$);

V_{RHE} = Volume total da reserva hídrica explotável (m^3);

ΣV_{EXP} = Somatório dos volumes explotados (m^3).

7.1.4.3.6 Determinação do indicador IDHE

Para a determinação do *Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável*, são necessários os seguintes passos:

❖ *1º passo - Estimar a Reserva Hídrica Explotável (RHE):*

Antes de se estimar a *Reserva Hídrica Explotável* se faz necessário definir, conceitualmente, o que esta significa, e, para tal, outros conceitos anteriores relacionados às reservas hídricas subterrâneas devem estar claros para que se possa estabelecer os critérios para a definição e estimativa da reserva explotável, visto que esta é de suma importância para o cálculo do indicador ora em discussão.

Assim sendo, adotou-se neste trabalho, como variável para estimar a reserva hídrica reguladora, a média de longo termo da vazão média mínima de 7 dias de duração ($Q7m_{lt}$), considerando-se um regime de rio efluente durante todo o ciclo hidrológico anual, de acordo com a seguinte expressão:

Segundo o critério adotado,

$$R_E = 1/4 R_R \quad (46)$$

$$R_R = Q_{7mlt} \cdot P_E \quad (47)$$

Substituindo, tem-se,

$$R_E = 1/4 (Q_{7mlt} \cdot P_E) \quad (48)$$

Onde,

R_E = Reserva hídrica explotável ($m^3 \text{ ano}^{-1}$)

$R_E = Q_{RHE}$ = Vazão da reserva hídrica explotável ($m^3 \cdot s^{-1}$)

ou

$R_E = V_{RHE}$ = Volume total da reserva hídrica explotável (m^3);

R_R = Reserva hídrica reguladora ($m^3 \text{ ano}^{-1}$)

Q_{7mlt} = Média de longo termo da vazão média mínima de 7 dias de duração ($m^3 \cdot s^{-1}$)

P_E = Período anual (s)

❖ 2º passo: Estimar o Volume Total Explotado (VTE):

Para estimar o volume total explotado deve-se, após o levantamento de dados dos poços tubulares cadastrados e/ou outorgados na bacia ou seção de interesse, efetuar o somatório das vazões dos poços multiplicadas por um determinado número de horas diárias conforme o regime de bombeamento outorgado, multiplicado pelo número de dias anuais (365 dias). Na prática, na ausência desse detalhamento, pode-se somar as vazões e multiplicar por um regime de bombeamento hipotético, comum a todos os poços, tomado como referência de acordo com os critérios explicitados e multiplicado pelos dias anuais. Desta forma, a determinação do VTE é dada pela seguinte expressão:

Formula geral

$$V_{EXP} = \Sigma Q_{EXP} \cdot N^{\circ}hs. \cdot N^{\circ}dias \quad (49)$$

ou

$$V_{EXP} = (\Sigma Q_{EXP}) \cdot N^{\circ}hs. \cdot N^{\circ}dias \quad (50)$$

Onde,

V_{EXP} = Volume total explotado ($m^3 \text{ ano}^{-1}$);

ΣQ_{EXP} = Somatório das vazões dos poços ($m^3 \cdot h^{-1}$);

$N^{\circ}hs.$ = número de horas de bombeamento (h);

$N^{\circ}dias$ = número de dias (365 dias);

❖ 3º passo: Calcular o indicador IDHE:

Uma vez obtendo-se a R_E e o V_{TE} , calcular o indicador *Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável* conforme a expressão (42).

7.1.4.3.7 Fonte de dados e informações para o indicador IDHE

Diversas fontes podem ser consultadas para a obtenção dos dados e informações necessários para a determinação do ICRH. Estimativas da reserva hídrica explorável podem ser obtidas dos levantamentos hidrogeológicos. Dados já calculados das vazões características utilizadas como referência para as estimativas da Reserva Hídrica Explorável, podem ser obtidos diretamente, ou, podem ser calculados a partir da série histórica de dados fluviométricos disponibilizados nas: Agências Setoriais Reguladoras, como a ANA (Portal Hidroweb); Agências ou Secretarias de Estado; Concessionárias de serviços públicos, dentre outras. Dados de exploração podem ser obtidos nos cadastros de poços do CPRM e Instituições Estaduais como Secretarias de Estado de Meio Ambiente e/ou Recursos Hídricos. Fontes adicionais como: os bancos de dados de Institutos de Pesquisa e Universidades; Comitês de Bacia Hidrográfica, Empresas prestadoras de serviço ou, ainda, relatórios diversos de diagnósticos de impacto ambiental para licenciamento de empreendimentos, Relatório de Conjuntura Hídrica da ANA, publicados a partir de 2008, etc.

7.1.4.3.8 Interpretação do indicador IDHE

A interpretação do indicador Índice de Disponibilidade Hídrica Explorável (IDHE), é bastante simples, pois, o IDHE indica de forma direta a proporção de água que está disponível para a exploração em relação à Reserva Hídrica Total Explorável da bacia hidrográfica ou área de contribuição a montante da seção em consideração. O IDHE constitui um indicador de “estado” relacionado ao potencial hídrico da bacia hidrográfica em relação às reservas de água dos aquíferos relacionados. Revela o nível de uso dos recursos hídricos subterrâneos e o quanto ainda pode ser usado para os diversos fins. Como uma razão entre grandezas iguais o indicador IDHE é adimensional e pode ser expresso em percentagem (43) ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $\infty \text{ IDHA} \leq 1$.

A interpretação do DHE é baseada nos seguintes critérios:

- IDHE = 0,0 (zero) (0% da DHE): Essa condição ocorre quando: $RHE = TE$. Significa ausência de disponibilidade de água capaz de ser explorada para atender as demandas extras na bacia hidrográfica considerada. Representa, portanto, um valor crítico, pois, indica saturação de uso dos mananciais subterrâneos;

- IDHE = 1,0 (100% da DHE): Essa condição ocorre quando: TE = 0,0 (zero) Significa máxima disponibilidade de água capaz de ser explorada para atender as diversas demandas de uso da água na bacia hidrográfica considerada. Representa, portanto, um valor referencial, pois, indica disponibilidade total dos mananciais subterrâneos;
- $0 < \text{IDHE} < 1$ (x % da DHE); Essa condição ocorre quando RHE > TE. Significa que ainda há disponibilidade de água a ser explorada para atender as demandas extras na bacia hidrográfica considerada, cuja grandeza indica a proporção quantitativa da água em relação à Reserva Hídrica Total Explotável que ainda poderá ser utilizada;
- Observa-se que, o IDHE pode assumir valores negativos: IDHE < 0,0 (zero) Essa condição pode ocorrer, uma vez que, a Reserva Hídrica Explotável (RHE) corresponde a uma fração da Reserva Hídrica Total Reguladora. Logo os volumes explorados totais podem ser maiores do que a Reserva Hídrica Explotável (RHE), significando que a exploração efetiva supera a reserva hídrica considerada, por segurança, como explorável. Representa, portanto, valores críticos, pois, indica uma condição de sobre-exploração de água dos mananciais subterrâneos, comprometendo a manutenção das reservas reguladoras dos sistemas aquíferos na bacia hidrográfica;
- Critério estabelecido: Para efeito do presente sistema de indicadores (SISH-Cana) quando o valor do ICRH for negativo (IDHE < 0,0) o indicador assume o valor zero (IDHE = 0,0) visto que o propósito do índice IDHE dentro da estrutura do SISH-Cana é indicar a situação de disponibilidade da reserva hídrica explorável.

7.1.4.3.9 Considerações sobre o indicador IDHE

O Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável constitui um indicador da disponibilidade de água proveniente dos mananciais subterrâneos em sentido estrito da reserva reguladora ou renovável relacionadas ao sistema aquífero-hidrográfico na bacia em avaliação. Desta forma, a disponibilidade hídrica é definida através do balanço entre a reserva hídrica explorável que constitui uma fração da reserva reguladora ou renovável do sistema aquífero conforme adotado neste trabalho. Sendo assim, para a correta interpretação do IDHE, deve-se atentar para os conceitos e critérios adotados que devem estar explícitos, juntamente com a veiculação dos indicadores, de modo a evitar interpretações equivocadas a respeito da compartimentação das reservas hídricas subterrâneas adotadas pelo sistema.

Para o correto balanço entre a oferta hídrica e o consumo implantado por meio da exploração de poços tubulares deve-se estar atento, por ocasião das estimativas dos volumes ou vazão total explorada de não se incluir na contabilidade os poços que exploram água de aquíferos profundos, confinados que representam a reserva permanente dos sistemas aquíferos.

7.1.4.3.10 Conclusões sobre o indicador IDHE

O Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável responde de forma satisfatória a questão-chave: *Qual é a quantidade de água disponível dos mananciais hídricos subterrâneos para atendimento da demanda da atividade canavieira em expansão?*

7.1.4.4 Indicadores da Categoria 4 e aplicação no SISH-Cana

De forma sumarizada, o Quadro 13 apresenta os indicadores do grupo 4 com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 13 - Categoria 4: Indicadores da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira

INDICADORES	FÓRMULAS
IDHA - Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável	$IDHA = [Q_{95} - (\Sigma Q_c + Q_{rem})] / Q_{95}$
ICRH - Índice de Capacidade de Regularização Hídrica	$ICRH = (Q_{mlt} - Q_{95}) / Q_{mlt}$
IDHE - Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável	$IDHE = Q_{RHE} - \Sigma Q_{exp} / Q_{RHE}$

Nota: (i) Q_{95} - Vazão de permanência a 95%; (ii) Q_{mlt} - Vazão média de longo termo; (iii) Q_{rem} - Vazão remanescente; (iv) ΣQ_c - Somatório das vazões de água consumida; (v) ΣQ_{exp} - Somatório das vazões de água explorada.

Os indicadores da categoria 4: IDHA; ICRH e IDHE são orientados para a avaliação do potencial das UTAs (bacias) para o desenvolvimento da atividade canavieira. Os índices se aplicam exclusivamente ao módulo 2A da Parte 2 do SISH-Cana, orientado ao nível tático

do planejamento setorial. Os índices do grupo 4 integram os indicadores do SISH-Cana , nas seguintes posições (Figura 12).

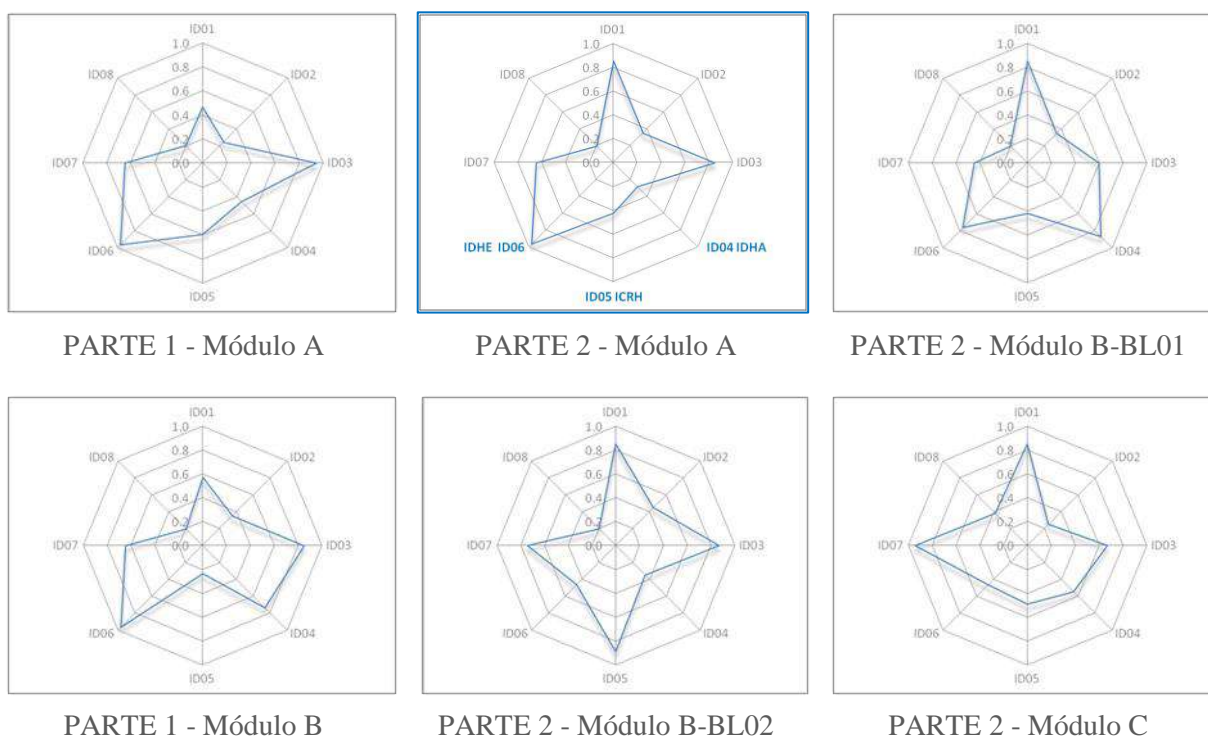


Figura 12 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 4: IDHA; ICRH e IDHE

Nota: (i) PARTE 1-Nível Estratégico; (ii) PARTE 2-Nível Tático; (iii) Módulo 1A: Indicadores de potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canavieira nas UTAs ; (iv) Módulo 1B: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; (v) Módulo 2A: Indicadores do potencial da bacia para o desenvolvimento da atividade canavieira; (vi) Módulo 2B-BL01: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de irrigação compulsória; (vii) Módulo 2B-BL02: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de sequeiro; (viii) Módulo 2C: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira.

7.1.5 Categoria 5. Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira.

Este grupo reúne indicadores aplicados para a avaliação do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda de água da atividade canavieira, orientados tanto para o nível estratégico quanto o tático do planejamento setorial. Conceitualmente, trata-se de um único indicador. Porém, o sistema SISH-Cana oferece oito índices adaptados para prover informações particularizadas sobre as diferentes situações relacionadas às combinações entre cada tipo de sistema de produção (Sistema de Sequeiro e Irrigação Compulsória) e os

diferentes níveis de disponibilidade hídrica, anteriormente explicitados (Disponibilidade Hídrica Geral, Alocável, Regularizável e Explotável).

Sendo assim, a seguir será feita apenas uma descrição geral do indicador proposto, acentuando quando necessário as diferentes especificações de cada índice aplicado às situações particulares.

7.1.5.1 Índices de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (ICDHs)

7.1.5.1.1 Justificativa dos indicadores ICDHs

Uma vez tendo sido estimada a disponibilidade hídrica e verificada a ocorrência e determinada as áreas favoráveis para o cultivo da cultura canavieira em sistema de sequeiro ou irrigação compulsória em uma dada UTA em apreciação, o passo lógico seguinte diz respeito a verificar o quanto será necessário comprometer ou dispor dos volumes hídricos disponíveis para atender a demanda de água potencial para a atividade canavieira, conduzida em sistema de sequeiro ou em regime de irrigação compulsória. Demanda esta, projetada para a área máxima de expansão estimada com base na favorabilidade edafoclimática de cada unidade em apreço. Constitui, portanto, a realização do balanço entre a disponibilidade hídrica e a demanda de água requerida projetada para um cenário de expansão total da cultura canavieira até a área máxima considerada apta a ser cultivada.

Indubitavelmente trata-se de uma informação imprescindível para o planejamento da atividade canavieira e a gestão dos recursos hídricos. Com base nesses indicadores, o analista poderá, por um lado, avaliar o potencial de sustentabilidade hídrica de cada UTA, ou seja, sua capacidade de suporte quanto à oferta hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira em expansão, e, por outro, avaliar o nível de pressão no qual os recursos hídricos estarão submetidos no caso hipotético da expansão não planejada de uma nova atividade produtiva, potencialmente, consumidora de grandes volumes de água.

Pelas razões expostas, justifica-se a adoção de um ou mais indicadores que possam fornecer a informação do grau de comprometimento dos recursos hídricos frente à expansão da cultura canavieira. Neste sentido, propõe-se o indicador Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (ICDH).

No nível estratégico, o analista poderá obter uma visão geral sobre o grau de comprometimento dos recursos hídricos da Unidade Territorial de Análise de modo integrado, mananciais superficiais e subterrâneos, para atender às demandas postas pela atividade canavieira em expansão conduzida, quer em sistema de sequeiro quanto em sistema de irrigação compulsória. No nível tático do planejamento de uma bacia hidrográfica ou seção contribuinte da mesma, o analista poderá fazer uma avaliação segmentada conforme cada compartimento hidrológico relacionado aos mananciais hídricos: (i) Recursos hídricos superficiais com alocação direta do canal fluvial (Disponibilidade hídrica alocável); (ii) Recursos hídricos superficiais com aproveitamento dos excedentes hídricos com base na capacidade de reserva prévia (Disponibilidade hídrica regularizável); (iii) Recursos hídricos exploráveis dos mananciais subterrâneos (Disponibilidade Hídrica Explotável). Deste modo, o analista poderá avaliar qual é a situação mais favorável ou adequada para atender a demanda da atividade canavieira por ocasião do processo de planejamento territorial, agrícola ou dos recursos hídricos.

7.1.5.1.2 Objetivo dos indicadores ICDHs

O objetivo do grupo de indicadores, portanto, é fornecer ao analista do nível estratégico ou tático a informação sobre o quanto do total de água disponível da UTA será necessário dispor para atender a demanda hídrica da atividade canavieira. Proporção esta, posta a partir do balanço entre as estimativas da demanda hídrica da atividade canavieira, em sistema de sequeiro ou sob o regime de irrigação compulsória, e a disponibilidade hídrica geral, alocável, regularizável ou explorável, conforma cada caso a se analisar.

Assim sendo, o indicador ICDH visa responder a questão-chave geral:

- *Qual é o grau de comprometimento dos recursos hídricos disponíveis (geral, alocável, regularizável, explorável) para atender a demanda hídrica da atividade canavieira na UTA considerada?*

7.1.5.1.3 Descrição conceitual dos indicadores ICDHs

Os indicadores *Índices de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica*, em sua forma geral, estabelecem o grau de comprometimento dos recursos hídricos gerais, disponíveis em uma Unidade Territorial de Análise, para atender a demanda hídrica potencial da atividade canavieira em sistema de sequeiro ou de irrigação compulsória. Ou seja, o ICDH indica o quanto da oferta hídrica será necessário dispor para atender a demanda total de água da atividade canavieira. A demanda hídrica total é definida como sendo a soma entre a demanda de água para a irrigação da cultura da cana-de-açúcar e a demanda de água para o processamento industrial da produção potencial da cultura canavieira. A produção potencial é entendida como sendo a projeção da produção da área total apta para o plantio da cultura canavieira com base na média de produtividade regional. Ponderando cada situação, os indicadores, *Índices de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica*, aplicados especificadamente, estabelecem o grau de comprometimento dos recursos hídricos de forma compartimentada (recursos alocáveis, regularizáveis, explotáveis), disponíveis em uma Unidade Territorial de Análise, para atender a demanda hídrica potencial da atividade canavieira, conduzida em sistema de sequeiro ou sob o regime de irrigação compulsória. O indicador ICDH consiste, portanto, na relação entre a demanda hídrica da atividade canavieira e a disponibilidade hídrica para atendê-la.

7.1.5.1.4 Descrição formal dos indicadores ICDHs

O indicador, Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (ICDH) é determinado calculando-se a razão entre a Demanda Hídrica e a Disponibilidade Hídrica, dado pela seguinte expressão geral:

$$\text{ICDH}_{X_1X_2} = \text{DeH}_{X_2} / \text{DiH}_{X_1} \quad (51)$$

Ou na forma de percentagem,

$$\text{ICDH}_{X_1X_2} = (\text{DeH}_{X_2} / \text{DiH}_{X_1})100 \quad (52)$$

Onde,

$\text{ICDH}_{X_1X_2}$: índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (adimensional);

DeH_{X_2} : Demanda Hídrica da Atividade Canavieira (m^3);

DiH_{X_1} : Disponibilidade Hídrica (m^3).

Subscritos:

X_1 : Disponibilidade hídrica: Alocável (A); Regularizável (R); Explotável (E);

X_2 : Sistema de produção: Sequeiro (S); Irrigação Compulsória (I).

7.1.5.1.5 Determinação do indicador ICDH

Para se determinar o indicador IADH, os seguintes passos são necessários:

❖ *1º Passo - Determinar a Área Favorável (S_F):*

Determina-se a área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira que corresponde à área topograficamente adequada com aptidão edafoclimática favorável para a cultura, conforme cada caso: (i) Área Favorável a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (S_{FS}) Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira (S_{IC}).

Os dados das áreas favoráveis à cultura canavieira em sistema de sequeiro e/ou de irrigação compulsória de cada UTA em análise podem ser obtidos diretamente ou extraídos com auxílio de ferramentas de geoprocessamento em ambiente SIG de um zoneamento de aptidão edafoclimática orientado à cultura canavieira, tomado como referência. Deste modo, obtém-se:

- S_{FS} - Área Favorável a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (ha): corresponde ao somatório de todas as áreas na UTA considerada com topografia adequada (declividade $\leq 12\%$), aptidão pedológica preferencial ou regular, e, com baixo risco climático e condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro;
- S_{IC} - Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira (ha): corresponde ao somatório de todas as áreas na UTA considerada com topografia adequada (declividade $\leq 12\%$), aptidão pedológica preferencial ou regular, e, com baixo risco climático e condições climáticas favoráveis apenas para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória;

❖ *2º Passo - Estimar a Demanda Hídrica da Atividade Canavieira (DeH):*

Para se estimar a demanda hídrica da atividade canavieira é preciso fazer a distinção entre os dois sistemas de produção da cultura canavieira: (i) Demanda Hídrica da Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro (DeH_S); (ii) Demanda Hídrica da Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (DeH_I).

- (i) Estimativa da Demanda Hídrica da Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro (DeH_S)

Para o caso da condução da cultura em sistema de sequeiro como, obviamente, a cultura canavieira não necessita de irrigação a estimativa da demanda de água para a

manutenção da atividade canavieira é centrada apenas na demanda hídrica para o processamento industrial da produção da cultura canavieira (DeH_{PI}), dado pelas seguintes expressões:

$$DeH_S = DeH_{PI} \quad (53)$$

$$DeH_{PI} = V_{AG} \cdot P_{MC} \cdot S_F \quad (54)$$

Onde,

DeH_S = Demanda hídrica da cultura canavieira em Sistema de sequeiro (m^3);

DeH_{PI} = Demanda hídrica para o processamento industrial da produção da cultura canavieira (m^3);

V_{AG} = Volume de água gasta por massa de cana produzida ($m^3 \cdot t^{-1}$);

Obs: Esse valor é definido com base em estimativa média com nível tecnológico da planta agroindustrial intermediário.

P_{MC} : Produtividade média da cultura da cana-de-açúcar ($t \cdot ha^{-1}$);

Obs: Esse valor é definido com base em estimativas médias para a região estudada, considerando o desenvolvimento da cultura sem déficit hídrico.

S_F : Área favorável para a cultura canavieira na UTA (ha).

Obs: Conforme o caso pode ser: S_{FS} - Área Favorável a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (ha); ou S_{IC} - Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira (ha).

- (ii) Estimativa da Demanda Hídrica da Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (DeH_I)

Para a estimativa da demanda hídrica da atividade canavieira em sistema de irrigação compulsória (DeH_I) pondera-se tanto a demanda de água para atender a prática da irrigação de acordo com a categoria de irrigação estipulada: (i) Irrigação de Salvamento; (ii) Irrigação Suplementar; (iii) Irrigação Plena; quanto a demanda de água para atender o processamento industrial da produção potencial da cultura canavieira na UTA em avaliação. Assim, a formulação geral é dada por:

$$DeH_I = DeH_{IC} + DeH_{PI} \quad (55)$$

Onde,

DeH_I : Demanda hídrica da Atividade canavieira em sistema de irrigação (m^3)

DeH_{IC} : Demanda hídrica para a irrigação da cultura canavieira (m^3)

DeH_{PI} : Demanda hídrica para o processamento industrial da produção da cultura canavieira (m^3)

Para a estimativa da demanda hídrica para o processamento industrial da produção da cultura canavieira (DeH_{PI}) a fórmula já foi dada no item anterior, expressão 54 (pg 181).

Para a estimativa da demanda hídrica para a irrigação da cultura canavieira (DeH_{IC}) se faz necessário determinar a lâmina de irrigação (mm) que será aplicada. A lâmina de irrigação é calculada com base no déficit hídrico regional derivado de algum modelo de balanço hídrico, tomado como referência. Assim, conforme a magnitude do déficit hídrico e da lâmina

de irrigação a ser aplicada determina-se a categoria de irrigação mais adequada (Irrigação de Salvamento; Irrigação Suplementar; Irrigação Plena). Assim, a DeH_{IC} é obtida através da multiplicação da lâmina (mm) necessária para a irrigação da cultura canavieira pelo número total de hectares a ser, potencialmente, irrigado, dado pela área de irrigação compulsória (S_{IC}), dada pela expressão:

$$DeH_{IC} = 10 \lambda \cdot S_{IC} \quad (56)$$

Onde,

DeH_{IC} = Demanda hídrica para a irrigação da cultura canavieira (m^3);

S_{IC} = Área de irrigação compulsória (ha);

λ = Lâmina de irrigação (mm);

Obs: Correspondem as lâminas irrigação predeterminadas. No estudo de caso deste trabalho foram utilizadas as lâminas de 80 e 120mm

10: fator de transformação da lâmina “ λ ” em mm pra $m^3 \cdot ha^{-1}$.

❖ 3º Passo - Determinação da Disponibilidade Hídrica (DiH):

Os procedimentos para a estimativa da disponibilidade hídrica variam conforme cada caso. Para os índices ICDH do SISHM-Cana, aplicados para o nível tático, faz-se a seguinte distinção:

- Estimativa da disponibilidade hídrica alocável: corresponde aos volumes hídricos disponíveis, após o balanço entre a oferta e o consumo, dos mananciais de superfície com alocação direta do canal fluvial. Os procedimentos e a fórmula matemática foram explicitados no item: Determinação do indicador IDHA; expressão 28 (pg 154)
- Estimativa da disponibilidade hídrica regularizável: corresponde aos volumes hídricos disponíveis estimados a partir da capacidade de reserva prévia dos mananciais de superfície. Os procedimentos e a fórmula matemática foram explicitados no item Determinação do indicador ICRH; expressão 40 (pg 162)
- Estimativa da disponibilidade hídrica explotável: corresponde aos volumes hídricos disponíveis, após o balanço entre a oferta e o consumo, dos mananciais subterrâneos. Os procedimentos e a fórmula matemática foram explicitados no item Determinação do indicador IDHE; expressão 54 (pg 171)

Como o sistema SISH-Cana, para o planejamento no nível estratégico, admite diversos tipos de Unidades Territoriais de Análise (UTAs), com lógica divergente, o método para a estimativa da disponibilidade hídrica deve contemplar tanto unidades fisiográficas, como as bacias hidrográficas, como unidades político-administrativas o que, a princípio, introduz algumas dificuldades. Como se trata do nível estratégico onde é suficiente a informação quantitativa em um nível de ordem de grandeza geral, uma proposição plausível seria utilizar

algum modelo distribuído com base na espacialização de algum indicador hidrológico que pudesse descrever a variabilidade espacial do potencial de produção hídrica de uma dada região de interesse.

Um dos primeiros problemas para a elaboração dos modelos distribuídos ou espacializados de uma dada variável hidrológica como, por exemplo, a vazão, consiste na inexistência ou escassez dos dados que permitem a sua estimativa. A baixa densidade das redes de estação fluviométrica ou a falta de uniformidade da distribuição dos seus postos de medição estão por trás do problema que exige, por sua vez, algum procedimento metodológico com vistas a superá-lo. Para contornar o problema, minimizando as incertezas nos processos de estimativa das vazões em locais sem informação, podem ser empregados modelos hidrológicos com parâmetros extrapolados ou técnicas de regionalização hidrológica (AGRA *et al* 2005).

Dependendo dos propósitos do estudo para os quais se pretende aplicar a regionalização, diferentes variáveis e estatísticas da vazão podem ser empregadas. São escolhidas, geralmente, variáveis adequadas à resolução de algum problema afeito ao gerenciamento dos recursos hídricos. A vazão média, por exemplo, caracteriza o balanço de longo período. A vazão máxima determina as condições de escoamento superficial e os processos de inundação. A vazão mínima, por sua vez, caracteriza as condições do aquífero e a capacidade de regularização natural da bacia hidrográfica (TUCCI 2002).

Como salientaram Reis *et al* (2008), uma alternativa atraente para a estimativa e regionalização das vazões tem sido a utilização de indicadores hidrológicos regionais, que constituem valores médios ou proporções entre variáveis hidrológicas característicos de uma região com comportamento hidrológico homogêneo. Assim, são empregados para se estimar e regionalizar a variável desejada. Diversos indicadores têm sido estudados e aplicados para caracterizar o regime de escoamento regional, permitindo assim a regionalização da variável “vazão” e suas estatísticas (REIS *et al*, 2008; AGRA *et al*, 2005; CLARKE ET TUCCI, 2003; TUCCI 2002). Dentre os diferentes indicadores hidrológicos regionais utilizados para a estimativa e regionalização da vazão, conforme REIS *et al* (2008), recorrentemente, o índice “vazão específica” tem sido o mais empregado.

Baseado na suposição da manutenção da proporcionalidade linear entre as áreas e as vazões, o índice “vazão específica” é definido pela razão entre a vazão e a área de drenagem da bacia. De maneira bastante simples, para se obter a estimativa da vazão de um local sem dados, toma-se a vazão específica calculada com dados medidos do local mais próximo e/ou representativo e multiplica-se pela a área do local a ser estimado. A vazão específica de longo

termo constitui, segundo TUCCI (2002), um índice, consideravelmente, estável para conjuntos de estações de medição fluviométrica com áreas de contribuição sem grandes variações. A transferência de informações entre bacias hidrográficas com áreas muito diferentes pode, por efeito de escala, induzir a resultados imprecisos, visto que a relação entre a vazão e a área pode deixar de ser linear, limitando o emprego do índice da vazão específica como método de regionalização (TUCCI, 2002).

Considerando-se que as principais variáveis explicativas para o comportamento médio das vazões são a área de drenagem e a precipitação, o índice de vazão específica média de longo período apresenta pequena variação em regiões onde as isoietas de precipitação apresentam pequeno gradiente espacial (TUCCI, 2002).

Assim sendo, no presente estudo, para a estimativa da oferta hídrica geral da região em apreço foi elaborado um modelo espacialmente distribuído de índices regionais de vazão específica: (i) vazão específica média de longo termo (q_{mlt}); (ii) vazão específica com 95% de permanência (q_{95}).

Utilizou-se a vazão específica média de longo termo (q_{mlt}) porque este indicador hidrológico representa o potencial de produção média de água da bacia hidrográfica. Utilizou-se a vazão específica com 95% de permanência (q_{95}) porque esta vazão característica representa quantidade de água produzida em regime de recessão que se relaciona com as disponibilidades alocáveis e os volumes restituídos dos aquíferos. Sendo a diferença entre as duas vazões características um estimador do potencial de reserva hídrica por acumulação prévia dos excedentes hídricos.

As vazões específicas são obtidas pela razão do valor da vazão média de longo termo ou da vazão com 95% de permanência pela a área de contribuição da bacia hidrográfica ou seção desta definida pela seção de controle da estação fluviométrica. A vazão específica média de longo termo e a vazão específica com 95% de permanência são dadas por:

$$q_{mlt} = Q_{mlt}/S_B \quad (57)$$

e/ou

$$q_{95} = Q_{95}/S_B \quad (58)$$

Onde,

q_{mlt} = Vazão específica média de longo termo ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

Q_{mlt} = Vazão média de longo termo ($m^3.s^{-1}$);

q_{95} = Vazão específica com 95% de permanência ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

Q_{95} = Vazão com 95% de permanência ($m^3.s^{-1}$);

S_B = Área da bacia (km^2).

A oferta hídrica geral pode ser considerada como a produção média de água da bacia hidrográfica ou Unidade Territorial de Análise, logo a Oferta Hídrica Geral (OH_G) é dada por:

$$OH_G = q_{mlt} \cdot S_{UTA} \quad (59)$$

Onde,

OH_G = Oferta hídrica geral (m^3)

q_{mlt} = Vazão específica média de longo termo ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

S_{UTA} = Área da Unidade Territorial de Análise (km^2);

De acordo com o método proposto o índice ICDH estabelece a relação entre a demanda da atividade canavieira e a Disponibilidade Hídrica (DiH_G), entendida com uma fração da Oferta Hídrica Geral (OH_G) que efetivamente está disponível para outros usos. Como visto anteriormente, para o nível tático, a disponibilidade hídrica foi estimada com base no saldo entre a oferta hídrica e o consumo total de água nas bacias a se avaliar. Desta feita, considerando-se que o nível estratégico de planejamento não exige um nível de acurácia muito elevado, não há necessidade de se estimar, exaustivamente, os totais de água consumidos na UTA para se obter a disponibilidade hídrica com base no saldo entre a oferta hídrica geral e o consumo total de água. Em vez disso, considera-se suficiente se descontar a vazão remanescente estabelecida pelos órgãos gestores para a região estudada ou, na ausência desta, algum valor de referência adotado como critério. Além disso, procurou-se integrar no cálculo da Disponibilidade Hídrica Geral a disponibilidade alocável e a capacidade de reserva por regularização ou acumulação prévia dos excedentes hídricos. Deste modo, a fórmula geral para a estimativa da Disponibilidade Hídrica Geral, fica assim representada:

$$DiH_G = DiH_A + DiH_R \quad (60)$$

$$DiH_A = q_{95} - \frac{1}{x} q_{95} \quad (61)$$

$$DiH_R = q_{mlt} - q_{95} \quad (62)$$

Substituindo,

$$DiH_G = (q_{95} - \frac{1}{x} q_{95}) + (q_{mlt} - q_{95}) \quad (63)$$

Onde,

DiH_G = Disponibilidade hídrica geral ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

DiH_A = Disponibilidade hídrica alocável ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

DiH_R = Disponibilidade hídrica regularizável ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

q_{95} = Vazão específica com 95% de permanência ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

q_{mlt} = Vazão específica média de longo termo ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

$\frac{1}{x} q_{95}$ = Vazão específica remanescente dada por uma fração da vazão específica com 95% de permanência ($l.s^{-1}.km^{-2}$).

Contudo, como a demanda de água para a atividade canavieira foi estimada em termos volumétricos, se faz necessário também calcular a Disponibilidade Hídrica Geral (DiH_G) em termos do volume total de água produzida em uma dada área em um determinado período de tempo. Desta forma, a Disponibilidade Hídrica Geral (DiH_G), em termos volumétricos, de uma dada Unidade Territorial de Análise (UTA) constitui o resultado do produto entre a sua área, a vazão específica (q_{mlt} e/ou q_{95}) da zona hidrológica a qual se insere e um determinado período de tempo. Sendo assim, alguns critérios e premissas têm que ser postos e aceitos. A primeira premissa diz respeito à estimativa da área de contribuição, ou seja, faz-se a pressuposição de que a área da UTA se equivale, aproximadamente, à área de contribuição. Cabe observar que, neste caso, duas situações se distinguem. A primeira seria quando as UTAs consideradas constituem bacias hidrográficas. Neste caso, não há problema, pois, de fato, a área de contribuição é a própria área da bacia hidrográfica. Entretanto, ao se estabelecer o critério de igualdade entre as áreas das UTAs e as áreas de contribuição quando se está trabalhando com unidades político-administrativas, por apresentarem uma lógica espacial divergente, introduz-se, inevitavelmente, certa imprecisão. Contudo, esta premissa pode ser razoavelmente válida na medida em que se considere que a captação de água na unidade político-administrativa ocorra de modo descentralizado no âmbito de microbacias totalmente inseridas em seu território, cujo somatório das áreas se equivale à área total da unidade político-administrativa em apreço. Deste modo, o que se está considerando é que a unidade político-administrativa está inserida em uma zona hidrológica homogênea com um potencial de produção de água descrito pelas suas vazões específicas. Assim, de modo aproximado, as vazões específicas das zonas hidrológicas serviriam de base para se estimar a produção de água em uma unidade nelas inseridas. Caso a unidade político-administrativa abranja mais de uma zona hidrológica com vazões específicas contrastantes, pode-se estabelecer uma vazão específica média ponderada pela área contida.

Em relação à dimensão temporal, deve-se estabelecer alguns critérios. Considerando um ciclo hidrológico anual em que os recursos hídricos alocáveis estão disponíveis 95% do tempo, dado pela curva de permanência (q_{95}), pode-se estabelecer o critério de que o número de dias de produção de água corresponde, justamente, a 95% do período anual. Neste caso, considera-se que dos 365 dias anuais, aproximadamente, 346 dias produzem água na vazão determinada. No caso da estimativa da disponibilidade hídrica dada por regularização da vazão, deve-se estabelecer o período no qual, efetivamente, se possa fazer a reserva por acumulação prévia da água para uso futuro. Neste caso o critério mais lógico é o da sazonalidade regional. Portanto, para a região estudada, constata-se seis meses de período

com excedentes hídricos devido aos altos índices pluviométricos que condicionam um período de ascensão do regime hidrológico.

Isto posto, a formulação geral para se estimar a Disponibilidade Hídrica Geral (DiH_G) em volume (m^3) é dada por:

$$DiH_G = \{[(DiH_A.P_1) + (DiH_R.P_2)].S_{UTA}\}/1000 \quad (64)$$

Substituindo as equações (60) e (61),

$$DiH_G = \{[(q_{95} - 1/x q_{95}). P_1] + [(q_{mlt} - q_{95}). P_2] S_{UTA}\}/1000 \quad (65)$$

Onde,

DiH_G = Disponibilidade hídrica geral (m^3);

DiH_A = Disponibilidade hídrica alocável ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

DiH_R = Disponibilidade hídrica regularizável ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

q_{95} = Vazão específica com 95% de permanência ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

q_{mlt} = Vazão específica média de longo termo ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

$1/x q_{95}$ = Vazão específica remanescente dada por uma fração da vazão específica com 95% de permanência ($l.s^{-1}.km^{-2}$).

P_1 = Período de produção de água anual no qual se pode contar com a alocação (95% dos 365 dias anuais \approx 346 dias) (s);

P_2 = Período de produção de água anual no qual se pode reservar os excedentes hídricos (6 meses \approx 183 dias) (s).

S_{UTA} = Área da Unidade Territorial de Análise (Km^2)

❖ 4º Passo: Calcular o indicador $ICDH_{XX}$:

De posse dos valores de Demanda Hídrica (DeH_X) para o sistema de irrigação ou sequeiro, e, de Disponibilidade Hídrica (DiH_X : geral, alocável, regularizável, explotável) calcular os indicadores conforme a expressão (60)

7.1.5.1.6 Fonte de dados e informações para os indicadores $ICDH_s$

Os dados hidrométricos para a estimativa dos indicadores hidrológicos podem ser obtidos na Agência Nacional das Águas (ANA), Órgãos Estaduais, Concessionárias de Serviço Público, dentre outros. Os valores das áreas favoráveis para o sequeiro (S_{FS}) ou de irrigação compulsória (S_{IC}) podem ser obtidos no zoneamento edafoclimático ou agroclimático, tomado como referência. Os valores das lâminas de irrigação podem ser obtidos de modelos de déficit hídrico, balanço hídrico, risco climático, etc. Outros parâmetros ou critérios técnicos na literatura especializada.

7.1.5.1.7 Interpretação dos indicadores ICDHs

A interpretação dos indicadores *Índices de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica* para atender a demanda da atividade canavieira (ICDH), é bastante simples, pois, o ICDH indica de forma direta a proporção da *Disponibilidade Hídrica (geral, alocável, regularizável, explotável)* necessária para atender a demanda da atividade canavieira (sistema de irrigação ou sequeiro) na Unidade Territorial de Análise, adotada. O ICDH constitui um indicador de “estado”, relacionado à oferta dos recursos hídricos, para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação ou sequeiro. O ICDH indica a potencialidade da produção de água da UTA, por compartimentos hidrológicos, para sustentar a expansão da cultura canavieira. Indica ainda, o grau de pressão potencial a qual os recursos hídricos estarão submetidos no caso hipotético da expansão canavieira até a área máxima considerada adequada. Como uma razão entre grandezas com unidades iguais, é adimensional e, pode ser expresso em percentagem (61) ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq \text{ICDH} \leq \infty$.

A interpretação dos indicadores ICDHs se baseia nos seguintes critérios:

- $\text{ICDH}_{XX} = 1,0$ (100% da DiH_X): Essa condição ocorre quando: $\text{DeH}_X = \text{DiH}_X$. Significa o comprometimento máximo da Disponibilidade Hídrica especificada para atender a Demanda Hídrica do sistema especificado. Constitui um valor crítico, limite da sustentabilidade hídrica, pois, a demanda hídrica necessária para sustentar a atividade canavieira comprometeria a totalidade da disponibilidade hídrica da UTA considerada;
- $0 \leq \text{ICDH}_{XX} \leq 1$ (x % da DiH_X); Essa condição ocorre quando $\text{DeH}_X < \text{DiH}_X$. Significa um grau intermediário de comprometimento da Disponibilidade Hídrica especificada para atender a Demanda Hídrica no sistema especificado, cuja grandeza do valor do indicador revela o grau de comprometimento da Disponibilidade Hídrica especificada para atender a Demanda Hídrica da atividade canavieira no sistema especificado na UTA, adotada;
- $\text{ICDH}_{XX} > 1$. Essa condição ocorre quando $\text{DeH}_X > \text{DiH}_X$. Significa que a Disponibilidade Hídrica geral ou específica está aquém da Demanda Hídrica da atividade canavieira conforme o sistema especificado. Constituem valores críticos que indicam o comprometimento máximo da Disponibilidade Hídrica geral ou específica;
- 1º Critério adotado: Quando o índice for maior do que 1,0 ($\text{ICDH} > 1$) o indicador assume o valor 1,0 ($\text{ICDH} = 1$). Para efeito da padronização proposta pela

metodologia do SISH-Cana e pra manter a coerência considera-se que a noção de “comprometimento de um recurso natural” não pode, por lógica, ultrapassar a 100% do mesmo. Logo quando o índice ICDH, matematicamente, ultrapassar o valor da unidade o indicador se limite ao valor unitário.

- $ICDH_{XX} = 0,0$ (0% da DiH_X). Essa condição ocorre quando: $DeH_X = 0,0$. Significa que não há demanda alguma e, portanto, obviamente, não há comprometimento dos recursos hídricos especificados.
- 2º Critério adotado: Quando o índice for igual a zero ($ICDH_{XX} = 0,0$) o mesmo não se aplica. Pois, por uma interação lógica, não faz sentido se determinar o “grau de comprometimento” de uma demanda inexistente. Portanto, adota-se o critério de não aplicação do indicador ICDH, designado pelo código NA (Não se Aplica).

7.1.5.1.8 Considerações sobre os indicadores ICDHs

Os ICDHs, a princípio, não constituem indicadores apropriados ou que tenham sido pensados para monitoramento, mas sim, para a avaliação do potencial dos recursos hídricos em atender a demanda de água projetada para a expansão máxima da atividade canavieira. Contudo, no caso da aplicação dos índices ICDHs no nível tático, como as estimativas das diferentes disponibilidades hídricas incluem o desconto dos volumes hídricos consumidos, na medida em que for aumentando o nível de consumo de água na bacia em apreço, os índices de comprometimento irão aumentar. No caso do nível estratégico, como o método de estimativa da disponibilidade hídrica não considera os totais de água consumidos, o indicador se comporta de modo mais ou menos estático, pelo menos enquanto se mantiverem as condições de estacionariedade das variáveis hidrológicas referentes às UTAs em apreço.

Os índices ICDHs, ainda que sejam indicadores de inequívoco valor prático, constituem indicadores muito dependentes do método de estimativa da disponibilidade hídrica que deve ser bem especificado junto à veiculação dos indicadores para que se possa interpretá-los de maneira correta. Seria desejável, portanto, a padronização metodológica para que se torne possível o cotejo de diferentes aplicações.

7.1.5.1.9 Conclusões sobre os indicadores ICDHs

Os indicadores *Índices de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica* atendem aos propósitos tanto da Parte 1 do Sistema de Indicadores dedicada ao nível estratégico quanto para a Parte 2 referente ao nível tático, ao possibilitar a análise do grau de comprometimento dos recursos hídricos de maneira especificada, contemplando os distintos volumes hídricos disponíveis provenientes dos mananciais de superfície e subterrâneos, e de forma orientada para cada sistema de produção canavieira, sistema de sequeiro ou de irrigação compulsória. Os indicadores ICDH respondem de forma direta e satisfatória a questão-chave geral: *Quanto será necessário comprometer dos recursos hídricos disponíveis (geral, alocável, regularizável, explotável) para atender a demanda hídrica da atividade canavieira na UTA considerada?* Ao responder o quanto será necessário dispor da *disponibilidade hídrica* para atender a os volumes de demanda de água da atividade canavieira o indicador apresenta um valor gerencial indubitável para o planejamento do setor agrícola e gestão dos recursos hídricos nos níveis estratégico e tático.

7.1.5.2 Indicadores da Categoria 5 e aplicação no SISH-Cana

De forma sumarizada, o Quadro 14 apresenta os indicadores do grupo 5 com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 14 - Categoria 5: Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira. (continua)

INDICADORES	FÓRMULAS
ICDH _{GS} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica – G/SS	ICDH _{GS} = DeH _S / DiH _G
ICDH _{GI} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica – G/SI	ICDH _{GI} = DeH _I / DiH _G
ICDH _{AS} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica – A/SS	ICDH _{AI} = DeH _S / DiH _A
ICDH _{AI} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica – A/SI	ICDH _{AI} = DeH _I / DiH _A
ICDH _{RS} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica – R/SS	ICDH _{RI} = DeH _S / DiH _R
ICDH _{RI} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica – R/SI	ICDH _{RI} = DeH _I / DiH _R
ICDH _{ES} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica – E/SS	ICDH _{EI} = DeH _S / DiH _E
ICDH _{EI} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica – E/SI	ICDH _{EI} = DeH _I / DiH _E

Nota: (i) DeH - Demanda hídrica da atividade canavieira; (ii) DiH - Disponibilidade hídrica. Obs: (i) S/SS - Sistema de Sequeiro; (ii) I/II – Sistema de Irrigação Compulsória; (iii) G - Disponibilidade hídrica geral; (iv) A - Disponibilidade hídrica alocável; (v) R - Disponibilidade hídrica regularizável; (vi) E - Disponibilidade hídrica Explotável.

Os indicadores da categoria 5: $ICDH_{GI}$; $ICDH_{GS}$; $ICDH_{AI}$; $ICDH_{AS}$; $ICDH_{EI}$; $ICDH_{ES}$; $ICDH_{RI}$; $ICDH_{RS}$; são orientados para os módulos de avaliação da sustentabilidade hídrica das UTAs para a atividade canvieira. Os índices se aplicam aos módulos 1A, 2B-BL01 e 2B-BL02 da Parte 1 e 2 do SISH-CANA, servindo para a avaliação tanto do nível tático quanto do estratégico do planejamento e gestão setorial. Os índices da categoria 5 integram os indicadores do SISH-Cana, nas seguintes posições (Figura 13).

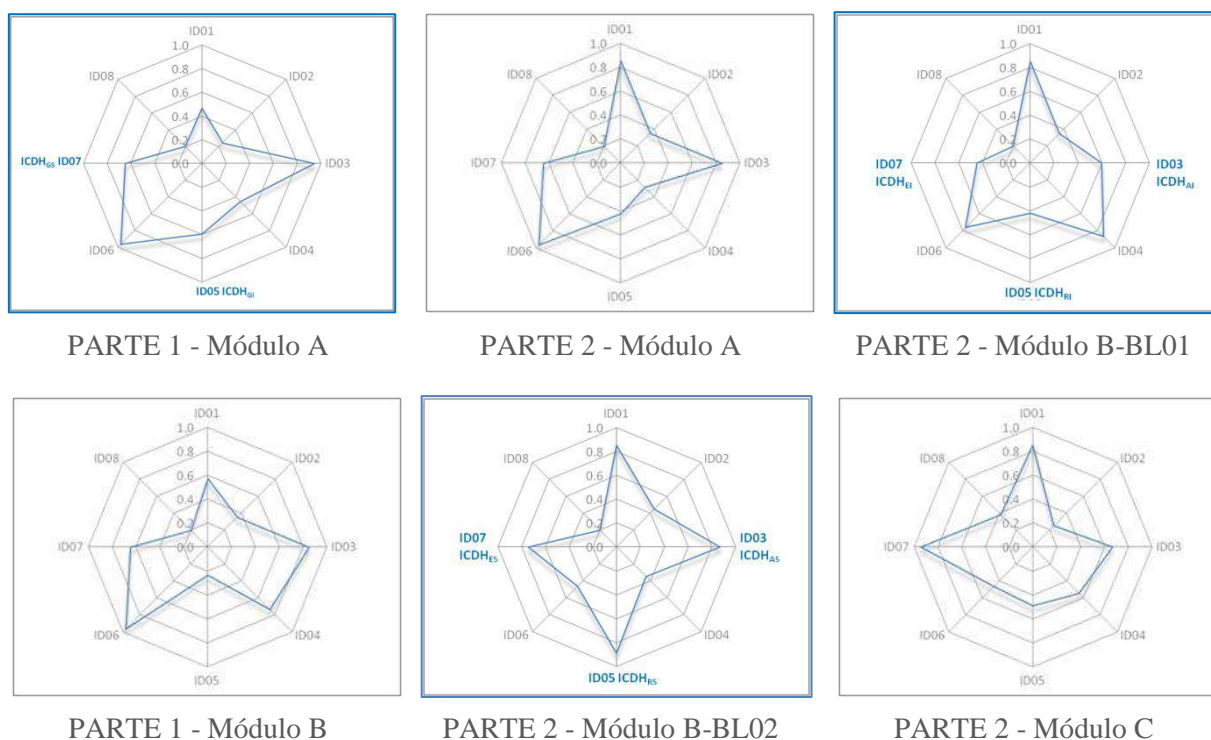


Figura 13 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 5: $ICDH_{GI}$; $ICDH_{GS}$; $ICDH_{AI}$; $ICDH_{AS}$; $ICDH_{EI}$; $ICDH_{ES}$; $ICDH_{RI}$; $ICDH_{RS}$.

Nota: (i) PARTE 1-Nível Estratégico; (ii) PARTE 2-Nível Tático; (iii) Módulo 1A: Indicadores de potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canvieira nas UTAs; (iv) Módulo 1B: Indicadores do processo de expansão da cultura canvieira; (v) Módulo 2A: Indicadores do potencial da bacia para o desenvolvimento da atividade canvieira; (vi) Módulo 2B-BL01: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canvieira em sistema de irrigação compulsória; (vii) Módulo 2B-BL02: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canvieira em sistema de sequeiro; (viii) Módulo 2C: Indicadores do processo de expansão da cultura canvieira.

7.1.6 Categoria 6. Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canvieira

Este grupo reúne indicadores na forma de índices que indicam o grau de atendimento da demanda hídrica da atividade canvieira para cada sistema de produção especificado com

base na disponibilidade hídrica geral ou específica, conforme a orientação, nível estratégico ou tático do planejamento setorial. Conceitualmente, trata-se de um único indicador. Porém, o sistema SISH-Cana oferece oito índices adaptados para prover informações particularizadas sobre as diferentes situações relacionadas às combinações entre cada tipo de sistema de produção (Sistema de Sequeiro e Irrigação Compulsória) e os diferentes níveis de disponibilidade hídrica, anteriormente explicitados (Disponibilidade Hídrica Geral, Alocável, Regularizável e Explotável).

Sendo assim, a seguir será feita apenas uma descrição geral do indicador proposto, acentuando quando necessário as diferentes especificações de cada índice aplicado às situações particulares.

7.1.6.1 Índices de Atendimento da Demanda Hídrica da Atividade Canavieira (IADHs)

7.1.6.1.1 Justificativa dos indicadores IADHs

Os *Indicadores de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (ICDH)*, anteriormente descritos, ao estabelecer a relação entre a demanda e a disponibilidade hídricas, indicam qual a proporção dos volumes de água disponíveis será necessário comprometer para sustentar a expansão potencial da atividade canavieira. Como contraponto desta informação, surge a noção de atendimento da demanda hídrica que, ao contrario, estabeleça a relação oposta da disponibilidade hídrica sobre a demanda. Deste modo, como indicadores complementares ao grupo antecedente e, visando indicar qual o grau de atendimento da demanda hídrica potencial para o desenvolvimento da atividade canavieira com base nos recursos hídricos disponíveis, o SISH-Cana propõe o *Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira (IADH)*.

O índice ora proposto estabelece o grau de atendimento da demanda hídrica potencial, em termos de área, ou seja, estabelece a relação da área máxima que a atividade canavieira seria capaz de expandir tendo a sua demanda hídrica plenamente atendida pelos recursos hídricos disponíveis com a área total da Unidade Territorial de Análise. Nota-se que, o grau de atendimento da demanda hídrica também poderia ser expresso como uma relação de volumes hídricos, mas, optou-se pela relação entre áreas por considerar que a informação

sobre a proporção de área máxima capaz de ser cultivada de forma sustentada é mais explícita e relevante para os analistas do campo da engenharia agrônômica.

Desta forma, os indicadores IADHs preenchem esta lacuna, oferecendo ao analista do nível estratégico e tático a noção da área potencial de expansão sustentada para a atividade canavieira. Vale dizer, a área capaz de ser cultivada de modo sustentável em termos de atendimento da demanda de água requerida com base na oferta hídrica disponível.

7.1.6.1.2 Objetivo dos indicadores IADHs

O objetivo dos índices IADHs é informar sobre o grau de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira em termos de área máxima de desenvolvimento da cultura canavieira de modo sustentável. Os indicadores IADHs buscam responder as duas questões-chave:

- *Qual é o grau de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira com base na oferta hídrica disponível?*
- *Qual é a área máxima que a cultura canavieira pode expandir com pleno atendimento da demanda hídrica?*

7.1.6.1.3 Descrição conceitual dos indicadores IADHs

Os indicadores *Índices de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira* (IADHs) estabelecem a relação entre a área máxima de expansão sustentada, com base na oferta de água disponível, e a áreas consideradas favoráveis para o desenvolvimento da atividade canavieira em cada Unidade Territorial de Análise. A *Área Máxima de Expansão Sustentada* corresponde à área máxima capaz de ser irrigada ou mantida em sequeiro com base na oferta hídrica disponível para o atendimento pleno da demanda de água requerida para cada sistema especificado. A demanda hídrica para a atividade canavieira em sistema de irrigação equivale à soma das demandas de água para a irrigação e para o processamento agroindustrial da produção potencial da cana-de-açúcar. A demanda para a atividade

canavieira em sistema de sequeiro se resume a demanda de água para o processamento agroindustrial da produção potencial da cana-de-açúcar.

7.1.6.1.4 Descrição formal dos indicadores IADHs

O indicador, Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Atividade Canavieira é determinado pela razão entre a Área Máxima de Expansão Sustentada e a Área Favorável ao Sistema de Sequeiro ou a Área de Irrigação Compulsória conforme o sistema especificado, de acordo com a seguinte expressão geral:

$$IADH_{XX} = S_{ME_{XX}} / S_F \quad (66)$$

Ou na forma de percentagem,

$$IADH_{XX} = (S_{ME_{XX}} / S_F) \cdot 100 \quad (67)$$

Onde,

IADH_{xx}: Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira(adimensional);

S_{ME_{xx}} = Área Máxima de Expansão Sustentada (ha);

Obs: A Área Máxima de Expansão Sustentada (ha) é calculada conforme cada sistema de produção especificado e disponibilidade hídrica específica (geral; alocável; regularizável e explotável).

S_F = Área Favorável. Corresponde à Área de Irrigação Compulsória (*S_{IC}*) ou à Área Favorável a Sequeiro (*S_{FS}*) (ha).

7.1.6.1.5 Determinação dos indicadores IADHs

Para se determinar o indicador IADH, os seguintes passos são necessários:

❖ **1º Passo - Determinação da Área Favorável (*S_F*):**

Este procedimento é o mesmo do anteriormente descrito no ítem: Determinação do indicador ICDH - 1º Passo: Determinar a Área Favorável (*S_F*) (pg 180)

❖ **2º Passo - Estimar a Demanda Hídrica da Atividade Canavieira (*DeH*):**

Este procedimento é o mesmo do anteriormente descrito no ítem: Determinação do indicador ICDH - 2º Passo - Estimar a Demanda Hídrica da Atividade Canavieira (*DeH*) expressões 53 ou 55 - apenas diferindo deste, por se estimar o valor da demanda hídrica da atividade canavieira em hectares.

Assim, as seguintes adaptações aos procedimentos devem ser realizadas:

- (i) Para o cálculo da demanda hídrica para o processamento industrial da produção da cultura canvieira realizar a substituição da equação (66) pela, a seguir, dada:

$$DeH_{PI} = V_{AG} \cdot P_{MC} \quad (68)$$

Onde,

DeH_{PI} = Demanda hídrica para o processamento industrial da produção da cultura canvieira (m^3);

V_{AG} = Volume de água gasta por massa de cana produzida ($m^3 \cdot t^{-1}$);

Obs: Esse valor é definido com base em estimativa média com nível tecnológico da planta agroindustrial intermediário.

P_{MC} : Produtividade média da cultura da cana-de-açúcar ($t \cdot ha^{-1}$);

Obs: Esse valor é definido com base em estimativas médias para a região estudada, considerando o desenvolvimento da cultura sem déficit hídrico.

- (ii) Para o cálculo da demanda hídrica para a irrigação da cultura canvieira realizar a substituição da equação 68 pela, a seguir, dada:

$$DeH_{IC} = 10 \lambda. \quad (69)$$

Onde,

DeH_{IC} = Demanda hídrica para a irrigação da cultura canvieira (m^3);

λ = Lâmina de irrigação (mm);

Obs: Correspondem as lâminas irrigação predeterminadas. No estudo de caso deste trabalho foram utilizadas as lâminas de 80 e 120mm

10: fator de transformação da lâmina “ λ ” em mm pra $m^3 \cdot ha^{-1}$.

❖ 3º Passo: Estimar a disponibilidade hídrica (DiH):

Este procedimento é o mesmo do anteriormente descrito no ítem: Determinação do indicador ICDH - 3º Passo: Determinação da Disponibilidade Hídrica (DiH) (pg182) conforme expressão 63 (pg 186)

❖ 4º Passo: Estimar a Área Máxima de Expansão Sustentada (S_{ME}):

A Área Máxima de Expansão Sustentada é determinada pela razão entre a Disponibilidade Hídrica geral ou específica (DiH_X) e a Demanda Hídrica (DeH_X) do sistema especificado, dado pela seguinte expressão geral:

$$S_{MEXX} = DiH_X / DeH_X \quad (70)$$

Onde,

S_{MEXX} = Área Máxima de Expansão Sustentada (ha);

DiH_X = Disponibilidade Hídrica (m^3);

Obs: Conforme o caso pode ser a disponibilidade hídrica geral ou específica: alocável. Regularizável; explotável.

DeH_X : Demanda Hídrica da Atividade canvieira por hectare ($m^3 \cdot ha^{-1}$)

Obs: Conforme o sistema especificado pode ser referente para sequeiro ou para irrigação compulsória.

❖ **5º Passo: Calcular o indicador IADH:**

De posse dos valores de S_{ME} e S_F , calcular o indicador conforme a expressão (66).

7.1.6.1.6 Fonte de dados e informações para o indicador IADH

Os dados hidrométricos para a estimativa dos indicadores hidrológicos podem ser obtidos na Agência Nacional das Águas (ANA), Órgãos Estaduais, Concessionárias de Serviço Público, dentre outros. Os valores das áreas favoráveis para o sequeiro (S_{FS}) ou de irrigação compulsória (S_{IC}) podem ser obtidos no zoneamento edafoclimático ou agroclimático, tomado como referência. Os valores das lâminas de irrigação podem ser obtidos de modelos de déficit hídrico, balanço hídrico, risco climático, etc. Outros parâmetros ou critérios técnicos na literatura especializada.

7.1.6.1.7 Interpretação dos indicadores IADHs

A interpretação dos indicadores Índices de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira (IADHs) é imediata, pois, indicam de forma direta a proporção da área máxima possível de expansão estabelecida em função do limite da disponibilidade hídrica geral ou específica sobre a área total favorável ou apta para a expansão da atividade canavieira, conforme cada sistema especificado, na UTA considerada. Os IADHs constituem indicadores de estado, relacionados ao potencial da oferta hídrica disponível, mas expresso em termo de área máxima de expansão para o desenvolvimento sustentado da cultura canavieira em sistema de irrigação ou sequeiro. Como razões entre grandezas com unidades iguais, os indicadores IADHs são adimensionais e, podem ser expressos em percentagem (67) ou normalizados em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq \text{IADH} \leq 100$.

A interpretação dos índices IADHs, de forma geral, se baseia nos seguintes critérios:

- $\text{IADH} = 0,0$ (x % da S_F); Essa condição ocorre quando $S_{ME} = 0,0$ (zero). Para: $S_{ME} = 0,0$ a $\text{DiH}_X = 0,0$. Significa que não há mais volumes hídricos disponíveis para atender a qualquer demanda extra na UTA considerada, visto que a disponibilidade hídrica geral ou específica é nula. Corresponde a um valor crítico sinalizador da condição de

insustentabilidade hídrica para a atividade canavieira conforme o sistema especificado e compartimentos hídricos específicos;

- $0 < IADH < 1$ (x % da S_F): Essa condição ocorre quando $S_{ME} < S_F$. Significa que a disponibilidade hídrica geral ou específica atende parcialmente a demanda hídrica da atividade canavieira conforme o sistema especificado. A grandeza do valor do indicador revela a proporção da área capaz de ser irrigada ou desenvolvida em sequeiro com base na disponibilidade hídrica da UTA, em apreciação. Constituem valores críticos que sinalizam um determinado grau de atendimento e/ou de insuficiência dos recursos hídricos para atender a demanda potencial requerida no caso da expansão da atividade canavieira;
- $IADH = 1,0$ (100% da S_F): Essa condição ocorre quando $S_{ME} = S_F$. Significa que a disponibilidade hídrica geral ou específica atende exatamente a demanda hídrica total. Constitui um valor crítico, limite da sustentabilidade hídrica, pois, a demanda hídrica para sustentar a atividade canavieira se iguala à oferta hídrica alocável, não havendo, entretanto, margem de segurança;
- $IADH > 1$. Essa condição ocorre quando $S_{ME} > S_F$. Significa que a disponibilidade hídrica geral ou específica atende plenamente (com sobras) à demanda hídrica conforme o sistema especificado.
- 1º Critério Adotado: Quando o índice IADH for maior do que 1,0 ($IADH > 1$) a Área Máxima de Expansão Sustentada passa a ser determinada pela Área Total Favorável, pois, esta já estabelece um limite para a expansão canavieira baseado em critérios técnicos baseados na aptidão edafoclimática. Logo, neste caso, a $S_{ME} = S_F$ e o indicador IADH assume o valor unitário ($IADH = 1,0$).
- 2º Critério adotado: Quando a Área Favorável for inexistente ($S_F=0,0$) o índice não se aplica por uma impossibilidade matemática (quociente com denominador igual a zero) e, também porque, por interação lógica, não faz sentido considerar um valor relativo (área máxima) quando a própria área inexistente. Portanto, nesses casos adota-se o critério de não aplicação do indicador ICDH, designado pelo código NA (Não se Aplica).

7.1.6.1.8 Considerações sobre os indicadores IADHs

Os IADHs, a princípio, não constituem indicadores apropriados ou que tenham sido pensados para monitoramento, mas sim, para a avaliação do potencial dos recursos hídricos em atender a demanda de água projetada para a expansão máxima da atividade canavieira. Contudo, no caso da aplicação dos índices IADHs no nível tático, como as estimativas das diferentes disponibilidades hídricas incluem o desconto dos volumes hídricos consumidos, na medida em que for aumentando o nível de consumo de água na bacia em apreço, os índices de atendimento irão decair. No caso do nível estratégico, como o método de estimativa da disponibilidade hídrica não considera os totais de água consumidos, o indicador se comporta de modo mais ou menos estático, pelo menos enquanto se mantêm as condições de estacionariedade das variáveis hidrológicas referentes às UTAs em apreço.

Os índices IADHs, ainda que sejam indicadores de inequívoco valor prático, constituem indicadores muito dependentes do método de estimativa da disponibilidade hídrica que deve ser bem especificado junto à veiculação dos indicadores para que se possa interpretá-los de maneira correta. Seria desejável, portanto, a padronização metodológica para que se torne possível o cotejo de diferentes aplicações.

7.1.6.1.9 Conclusões sobre os indicadores IADHs

Os indicadores IADHs atendem aos propósitos tanto da Parte 1 do Sistema de Indicadores dedicada ao nível estratégico quanto para a Parte 2 referente ao nível tático, ao possibilitar a análise do grau de atendimento da demanda da atividade, de modo segmentado, para as combinações possíveis entre as modalidades de disponibilidade hídrica (geral, alocável, regularizável, explotável) e os sistemas de produção canavieira (sequeiro ou de irrigação compulsória).

Os indicadores *Índices de Atendimento da Demanda Hídrica da Atividade Canavieira* (IADHs), respondem de forma direta e satisfatória as questões-chave: *Qual é a área máxima para o desenvolvimento da cultura canavieira de modo sustentado? - Qual é o grau de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira com base nos recursos hídricos da UTA considerada?*

Constituem indicadores de valor gerencial importante que complementa a informação passada pelos indicadores *Índices de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica* (ICDH)

fornecendo uma noção da área de expansão máxima sustentável com base na oferta hídrica disponível.

7.1.6.2 Indicadores da categoria 6 e aplicação no SISH-Cana

De forma sumarizada, o Quadro 15 apresenta os indicadores da categoria 6 com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 15 - Categoria 6: Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira.

INDICADORES	FÓRMULAS
IADH _{GS} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – G/SS	$IADH_{GS} = S_{MA-GS} / S_{FS}$
IADH _{GI} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – G/SI	$IADH_{GI} = S_{MA-GI} / S_{IC}$
IADH _{AS} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – A/SS	$IADH_{AI} = S_{MA-AS} / S_{FS}$
IADH _{AI} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – A/SI	$IADH_{AI} = S_{MA-AI} / S_{IC}$
IADH _{RS} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – R/SS	$IADH_{RI} = S_{MA-RS} / S_{FS}$
IADH _{RI} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – R/SI	$IADH_{RI} = S_{MA-RI} / S_{IC}$
IADH _{ES} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – E/SS	$IADH_{EI} = S_{MA-ES} / S_{FS}$
IADH _{EI} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – E/SI	$IADH_{EI} = S_{MA-EI} / S_{IC}$

Nota: (i) S_{FS} - Área favorável à cultura canavieira em sistema de sequeiro; (ii) S_{IC} - Área de irrigação compulsória para a cultura canavieira; (iii) $S_{MA-(xx)}$ - Área máxima atendida. Obs: (i) S/SS - Sistema de Sequeiro; (ii) I/II – Sistema de Irrigação Compulsória; (iii) G - Disponibilidade hídrica geral; (iv) A - Disponibilidade hídrica alocável; (v) R - Disponibilidade hídrica regularizável; (vi) E - Disponibilidade hídrica Explotável.

Os indicadores do grupo 6: IADH_{GI}; IADH_{GS}; IADH_{AI}; IADH_{AS}; IADH_{EI}; IADH_{ES}; IADH_{RI}; IADH_{RS} - se aplicam nos módulos de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica das UTAs para a cultura canavieira. Os índices se aplicam aos módulos 1A e 2B-BL01 e 2B-BL02 da Parte 1 e 2 do SISH-CANA, servindo para a avaliação tanto do nível tático quanto do estratégico do planejamento e gestão setorial. Os índices do grupo 6 integram os indicadores do SISH-Cana, nas seguintes posições conforme cada aplicação (Figura 14).

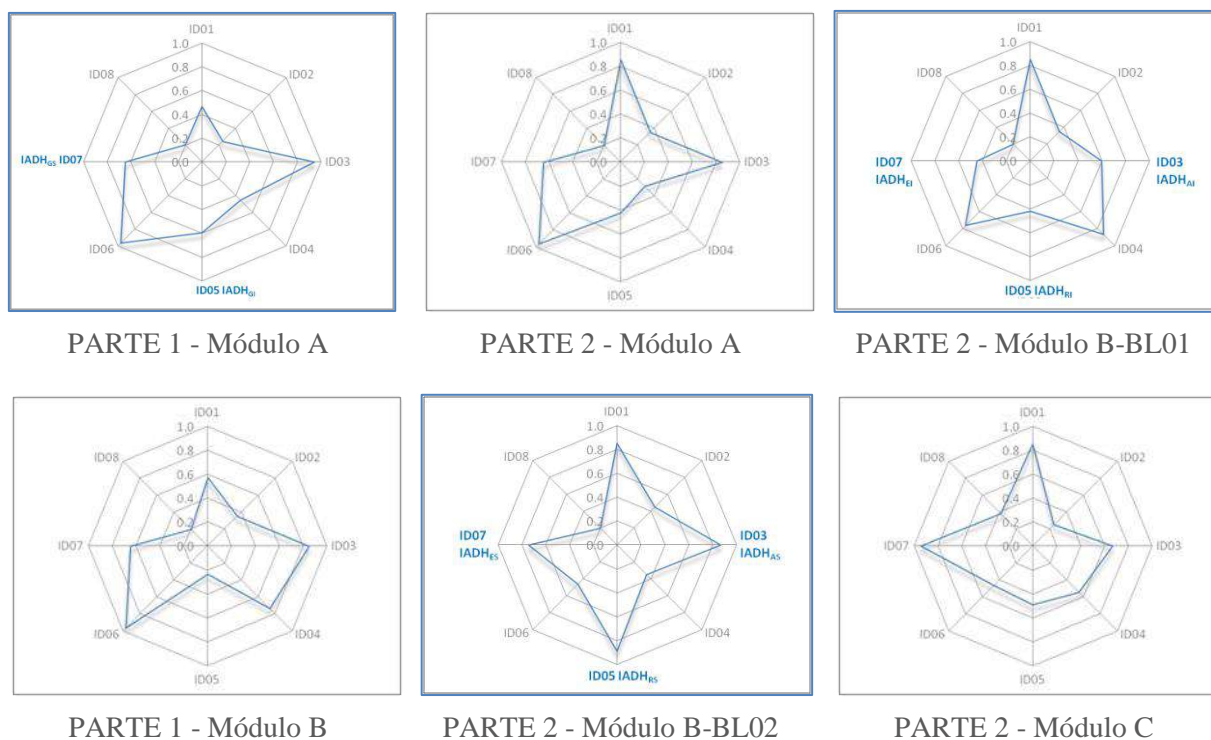


Figura 14 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 6: IADH_{GI}; IADH_{GS}; IADH_{AI}; IADH_{AS}; IADH_{EI}; IADH_{ES}; IADH_{RI}; IADH_{RS}.

Nota: (i) PARTE 1-Nível Estratégico; (ii) PARTE 2-Nível Tático; (iii) Módulo 1A: Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canavieira nas UTAs; (iv) Módulo 1B: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; (v) Módulo 2A: Indicadores do potencial da bacia para o desenvolvimento da atividade canavieira; (vi) Módulo 2B-BL01: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de irrigação compulsória; (vii) Módulo 2B-BL02: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de sequeiro; (viii) Módulo 2C: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira.

7.1.6.3 Categoria 7. Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira

Este grupo integra dois indicadores formulação muito simples e de significado intuitivo, mas, imprescindíveis no escopo do Sistema em proposição, pois, indicam de forma direta a proporção das áreas que estão sendo ocupadas pela cultura canavieira.

7.1.6.4 Índice de Ocupação da Cultura Canavieira (IOCC)

7.1.6.4.1 Justificativa do indicador IOCC

A ocorrência ou ausência da atividade canavieira constitui uma informação basilar para que o analista tático-estratégico possa avaliar e/ou monitorar o processo de expansão da atividade canavieira em curso na Unidade Territorial de Análise de seu interesse. Assim, se faz necessário saber se a atividade canavieira já ocorre e qual a sua proporção de ocupação em relação à área total da UTA.

Para tanto, sugere-se um indicador de lógica bastante simples, direto e suficiente, baseado na relação entre a área ocupada com a cultura canavieira e a área total da Unidade Territorial de Análise: *Índice de Ocupação da Cultura Canavieira* (IOCC).

Apesar da obviedade, a informação que o índice IOCC transmite é imprescindível para o monitoramento da cultura canavieira, o que, justifica a adoção deste no âmbito do Sistema de Indicadores ora em proposição.

7.1.6.4.2 Objetivo do indicador IOCC

O índice IOCC objetiva indicar a área relativa de ocorrência da cultura canavieira na Unidade Territorial de Análise, visando assim responder as questões-chave:

- *A cultura canavieira já ocorre na UTA?*
- *Qual é a proporção de ocupação da cultura canavieira na UTA?*

7.1.6.4.3 Descrição Conceitual do indicador IOCC

O Indicador, *Índice de Ocupação da Cultura Canavieira*, relaciona a área ocupada com a cultura da cana-de-açúcar com a área total da Unidade Territorial de Análise, indicando desta forma a área relativa de ocupação da cultura canavieira.

7.1.6.4.4 Descrição formal do indicador IOCC

A determinação do indicador IOCC é realizada pela razão entre o valor da área ocupada com a cultura canavieira e o valor da área total da Unidade Territorial de Análise, expresso pela relação:

$$\text{IOCC} = S_{\text{OC}} / S_{\text{UTA}} \quad (71)$$

Ou na forma de percentagem

$$\text{IOCC} = (S_{\text{OC}} / S_{\text{UTA}})100 \quad (72)$$

Onde,

IOCC = Índice de Ocupação da Cultura Canavieira (adimensional);

S_{OC} = Área de Ocupação da Cultura Canavieira (ha);

S_{UTA} = Área da Unidade Territorial de Análise (ha).

7.1.6.4.5 Determinação do indicador IOCC

Para determinar o indicador, Índice de Ocupação da cultura Canavieira (IOCC), os seguintes passos são necessários: (i) Obter ou determinar a área da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}); (ii) Obter ou determinar a área ocupada com a cultura canavieira; (iii) Calcular o Índice de Ocupação da Cultura Canavieira (IOCC).

❖ **1º Passo - Obter ou determinar a área da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}):**

A Área da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}) pode ser obtida diretamente de fontes secundárias, para o caso de unidades político-administrativas. Ou, quando se tratar de unidades fisiográficas como, por exemplo, bacias hidrográficas, a Área da UTA pode ser determinada, em ambiente SIG*, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento a partir da base cartográfica adotada.

❖ **2º Passo - Obter ou determinar a área ocupada com a cultura canavieira (S_{OC}):**

Obter ou determinar em ambiente SIG com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, a Área Ocupada com a Cultura Canavieira (S_{OC}) na UTA adotada para o ano em avaliação a partir de Levantamentos de Uso da Terra e Cobertura do Solo ou sistemas de monitoramento da mudança de uso do solo. Por tratar-se de um Sistema de Monitoramento contínuo e oficial, adotado pelo Governo Brasileiro, sugere-se, caso a escala da UTA adotada seja condizente, utilizar os dados do Projeto CANASAT/INPE.

❖ **3º Passo - Calcular o Índice de Ocupação da Cultura Canavieira (IOCC):**

Sendo conhecida a Área da UTA (S_{UTA}), e, tendo sido obtida ou calculada a Área de Ocupação da Cultura Canavieira (S_{OC}) calcula-se o indicador IOCC, conforme a expressão (71).

7.1.6.4.6 Fontes de dados e Informações para o Indicador IOCC

O projeto CANASAT do INPE constitui a fonte principal e oficial que disponibiliza os dados em período anual sobre a expansão e retração da área da cultura canavieira. Caso a escala espacial dos dados do CANASAT não seja adequada se faz necessário dispor de outra fonte que contenha dados sobre a área da cultura canavieira na escala espacial e temporal adequadas. A área da UTA deve ser obtida da cartografia básica das UTAs que está sendo utilizada ou outras fontes secundária de instituições como o IBGE, SIGs Estaduais, dentre outras.

7.1.6.4.7 Interpretação do indicador IOCC

A interpretação do indicador, Índice de Ocupação da cultura Canavieira, é imediata, pois, o IOCC indica de forma direta a proporção da área ocupada com a cultura da cana-de-açúcar na Unidade Territorial de Análise em apreço. O IOCC constitui um indicador de estado momentâneo do uso do solo, sendo, portanto um indicativo direto da ocorrência e estágio de desenvolvimento da atividade canavieira na Unidade Territorial de Análise considerada. Como uma razão entre áreas, o indicador IOCC, é adimensional e pode ser expresso em percentagem ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq \text{IOCC} \leq 1$.

A interpretação do IOCC é baseada nos seguintes critérios:

- IOCC = 1,0 (100% S_{UTA}). Essa condição ocorre quando: $S_{OC} = S_{UTA}$. Significa que a área da cultura canavieira ocupa toda a área da UTA. Constitui um valor improvável, mas, representa um estágio de extremo desenvolvimento da cultura canavieira na UTA;

- $IOCC = 0,0$ (0% S_{UTA}). Essa condição ocorre quando: $S_{OC} = 0,0$. Significa inocorrência da cultura canavieira na UTA. Representa ausência de desenvolvimento da cultura canavieira na UTA;
- $0 < IOCC < 1$ ($x\%$ S_{UTA}). Essa condição ocorre quando $S_{OC} < S_{UTA}$. Significa que a cultura canavieira ocupa parcialmente a área da UTA, cuja grandeza revela a proporção de ocupação da cultura canavieira em relação à área total da UTA. Representa estágios intermediários de desenvolvimento da cultura canavieira na UTA considerada.

7.1.6.4.8 Considerações sobre o indicador IOCC

Deve-se ter cuidado com a interpretação do indicador IOCC quando a Unidade Territorial de Análise adotada possuir área elevada e grande abrangência geográfica como, por exemplo, uma mesorregião estadual ou uma grande bacia hidrográfica. Pois neste caso, a relação percentual dada pelo IOCC pode ser bastante diminuta, o que não significa, necessariamente, que a UTA não possa ter *hotspots* importantes de desenvolvimento da cultura canavieira com toda a problemática a ela associada. Portanto, se faz necessário ter a noção da escala e da área total da UTA adotada para interpretar corretamente o índice IOCC.

7.1.6.4.9 Conclusão sobre o indicador IOCC

É um indicador direto, relevante e suficiente que, na forma de um índice de área relativa, detecta a ocorrência e sinaliza a proporção da área ocupada com a cultura canavieira na UTA, e, responde as questões-chave: *A cultura canavieira já ocorre na UTA? - Qual é a proporção de ocupação da cultura canavieira na UTA?*

Portanto, constitui um indicador de valor gerencial inequívoco para o analista tático-estratégico para o balizamento das ações de planejamento territorial e/ou setorial.

7.1.6.5 Índice de Expansão da Cultura Canavieira (IECC)

7.1.6.5.1 Justificativa do indicador IECC

Uma vez constatada a presença da cultura da cana-de-açúcar, a indagação conseqüente diz respeito à intensidade com que o processo de expansão da cultura canavieira está ocorrendo na UTA de interesse. A intensidade do processo de expansão é medida em termos de incorporação de novas áreas ao processo produtivo da atividade canavieira e sinaliza, simultaneamente, a velocidade do processo de desenvolvimento da atividade canavieira e a pressão potencial a que estão submetidos os recursos naturais da UTA em apreço.

Tanto para o tomador de decisão do nível estratégico quanto para o analista do nível tático a taxa de crescimento da área da cultura constitui uma informação, elementar, mas, de grande valia na apreciação do problema ambiental ensejado. Notadamente, a expansão de uma atividade agroindustrial como a sucroalcooleira, com anunciado poder de transformação da paisagem rural.

Isto posto, se faz necessário a adoção de um indicador capaz de informar a ocorrência e a intensidade do processo de expansão da cultura canavieira na UTA de interesse. Deste modo, considera-se que o Índice de Expansão da Cultura Canavieira, ora proposto, constitui um indicador simples, mas, suficiente para atender ao requisito explicitado, justificando assim a sua adoção.

7.1.6.5.2 Objetivo do indicador IECC

O objetivo do *Índice de Expansão da Cultura Canavieira* é fornecer a informação sobre a intensidade do processo de expansão anual ou qualquer período de interesse da cultura canavieira na UTA em avaliação. Portanto o indicador visa responder as questões-chave:

- Está ocorrendo expansão da cultura da canavieira na UTA?
- Qual a intensidade do processo de expansão da cultura canavieira na UTA?

7.1.6.5.3 Descrição conceitual do indicador IECC

O indicador IECC, na forma de um índice de área, normaliza a área de expansão da cultura canavieira pela a área total da Unidade Territorial de Análise, indicando, em termos de área relativa acrescida ao processo produtivo, a ocorrência e a intensidade do processo de expansão da cultura canavieira.

7.1.6.5.4 Descrição formal do indicador IECC

O *Índice de Expansão da Cultura Canavieira* é determinado pela razão entre a área de expansão e a área da Unidade Territorial de Análise. A área de expansão corresponde à diferença das áreas ocupadas pela cultura canavieira nos anos subsequentes adotados como o período de avaliação. O IECC é dado por:

$$IECC = S_{EC}/S_{UTA} \quad (73)$$

$$S_{EC} = S_{OC} - S_{OC}$$

Substituindo,

$$IECC = (S_{OC1} - S_{OC0}) / S_{UTA}$$

Ou na forma de percentagem,

$$IECC = [(S_{OC1} - S_{OC0}) / S_{UTA}].100 \quad (74)$$

Onde,

IECC = Índice de Expansão da cultura Canavieira (adimensional)

S_{EC} = Área de Expansão da Cultura Canavieira (ha). Corresponde a Diferença entre as áreas de ocupação da cultura da cana-de-açúcar no período especificado;

S_{OC1} = Área de ocupação da cultura canavieira do ano em avaliação (ha)

S_{OC0} = Área de ocupação da cultura canavieira do ano anterior (ha)

7.1.6.5.5 Determinação do indicador IECC

Para determinar o indicador, *Índice de Expansão da cultura Canavieira*, os seguintes passos são necessários: (i) Obter ou determinar a área da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}); (ii) Obter ou determinar a área de expansão da cultura canavieira no período especificado (S_{EC}); (iii) *Calcular o indicador Índice de Expansão da Cultura Canavieira (IECC)*

❖ **1º Passo - Obter ou determinar a área da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}):**

A Área da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}) pode ser obtida diretamente de fontes secundárias, para o caso de unidades político-administrativas. Ou, quando se tratar de unidades fisiográficas como, por exemplo, bacias hidrográficas, a Área da UTA pode ser determinada, em ambiente SIG*, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento a partir da base cartográfica adotada.

❖ **2º Passo - Obter ou determinar a área de expansão da cultura canavieira no período especificado (S_{EC}):**

É necessário obter ou determinar a área de expansão da cultura canavieira no período de interesse. Conforme o período e a UTA adotados, os dados podem ser obtidos diretamente de fontes como o Projeto CANASAT/INPE. Nota-se que o referido Projeto disponibiliza os dados tabulados por município e por ano-safra.

No caso da adoção de unidades fisiográficas como UTAs será necessário se determinar as áreas de expansão da cultura canavieira com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, em ambiente SIG, a partir de bases temáticas de uso e cobertura do solo que contenham a classe “cana-de-açúcar” e a escala espaço-temporal adequada. De qualquer forma, de acordo com a expressão 74, a área de expansão da cultura canavieira no período especificado (S_{EC}) é obtida pela diferença entre as áreas ocupadas com a cultura canavieira no ano em avaliação (S_{OCi}) e no ano anterior (S_{OC0}). Sendo assim, através de técnicas de geoprocessamento é possível extrair os dados (áreas de expansão da cultura canavieira das UTAs) a partir das bases temáticas adotadas.

❖ **3º Passo - Calcular o indicador Índice de Expansão da Cultura Canavieira (IECC):**

Sendo conhecida a área da UTA (S_{UTA}) e, tendo sido obtida ou extraída a área de expansão da cultura canavieira (S_{OC}), calcula-se o indicador IECC, conforme a expressão (73).

7.1.6.5.6 Fontes de dados e informações para o indicador IECC

O projeto CANASAT do INPE constitui a fonte principal e oficial que disponibiliza os dados em período anual sobre a expansão da área da cultura canavieira. Ou ainda a por meio da extração de dados de bases cartográficas temáticas, imagens ou arquivos em formato shape obtidos ou elaborados a partir de Levantamentos de Uso da Terra e Cobertura do Solo. O

Projeto CANASAT/INPE constitui uma excelente e conveniente fonte de dados, mas, os arquivos shapes do projeto não estão disponíveis ao público em geral.

7.1.6.5.7 Interpretação do indicador IECC

O indicador, Índice de Expansão da cultura Canavieira é interpretado de modo imediato, uma vez que, revela de forma direta a intensidade do processo anual de expansão ou retração da cultura canavieira na UTA avaliada. Indiretamente, o índice IECC também sinaliza o grau de pressão ao qual estão sendo submetidas outras atividades agropecuárias coexistentes e a base de recursos naturais. O indicador IECC, como uma razão entre grandezas iguais, é adimensional e varia no intervalo: $-1 \leq \text{IECC} \leq 1$; podendo também ser expresso em percentagem (74). Dependendo do sinal, positivo ou negativo (+ ou -), o indicador sinaliza o sentido: expansão ou retração da cultura canavieira, respectivamente. A grandeza em módulo do valor do indicador revela a intensidade do processo de expansão/retração da área cultivada com a cana-de-açúcar.

A interpretação é realizada com base nos seguintes critérios:

- $0 < \text{IECC} < 1$ (Expansão em $x\% S_{UTA}$). Essa condição ocorre quando: $S_{OC1} > S_{OC0}$ logo $S_{EC} > 0$. Significa que houve expansão da cultura canavieira, cuja grandeza do valor sinaliza a intensidade relativa de expansão da área da cultura canavieira no período determinado em relação à área da UTA;
- $-1 < \text{IECC} < 0$ (Retração em $x\% S_{UTA}$). Essa condição ocorre quando: $S_{OC1} < S_{OC0}$ logo $S_{EC} < 0$. Significa que não ocorreu expansão e, sim, retração da área da cultura canavieira cuja grandeza do valor sinaliza a intensidade relativa de retração da área da cultura canavieira no período determinado em relação à área da UTA;
- 1º Critério adotado: Por coerência e inteligibilidade adota-se, no caso do $\text{IECC} < 0,0$ (valores negativos), o critério de alterar o nome do indicador para: *Índice de Retração da Cultura Canavieira - IRCC*, variando em um intervalo positivo $0 < \text{IRCC} < 1$.
- $\text{IECC} = 0$ (Expansão/Retração nulos). Essa condição ocorre quando: $S_{OC1} = S_{OC0}$, logo $S_{EC} = 0$. Significa que houve nem expansão nem retração da área da cultura canavieira;
- $\text{IECC} = 1$ (Expansão em $100\% S_{UTA}$). Essa condição ocorre quando: $S_{EC} = S_{UTA}$. Significa que houve expansão máxima da cultura canavieira em relação à área da

- UTA. Esse valor, apesar de matematicamente possível, é improvável, pois, representa uma incorporação de 100% da área da UTA ao processo produtivo da cana-de-açúcar;
- $IECC = -1$ (Expansão em 100% S_{UTA}). Essa condição ocorre quando: $S_{RC} = S_{UTA}$. Significa que houve retração máxima da cultura canavieira em relação à área da UTA. Esse valor, apesar de matematicamente possível, é improvável, pois, representa uma retração de 100% da área da UTA. Situação esta que pressupõe que a cultura canavieira ocupava toda a área da UTA, e, no período determinado a perdeu totalmente;

7.1.6.5.8 Considerações sobre o indicador IECC

Quando o valor do índice IECC for igual a zero o indicador sinaliza a para uma situação de expansão e retração nula, entretanto, não significa que não possa ter havido alguma dinâmica espacial de uso e ocupação do solo. Pois, no caso de igualdade das áreas de ocupação da cultura canavieira no período determinado o saldo geral das áreas de expansão e retração da cultura da cana-de-açúcar será, evidentemente, nulo. Dessa forma, podem ter ocorrido mudanças topológicas relacionadas ao uso do solo na UTA considerada, mas, as áreas de ocupação da cultura em foco se mantiveram constantes. De qualquer maneira o indicador cumpre o seu papel que é o de apontar para a ocorrência e a intensidade dos processos de expansão e/ou retração da cultura canavieira.

Cabe esclarecer que a sugestão para a mudança de notação de *IECC* para *IRCC*, e, para a alteração do nome do indicador de *Índice de Expansão* para *Índice de Retração da Cultura Canavieira* é importante no sentido de melhorar a inteligibilidade e a comunicação do significado do indicador, Assim, em vez de expressar um “índice de expansão negativa”, se expressa, com maior clareza, um “índice de retração” para os casos de decréscimo da área de ocupação da cultura da cana-de-açúcar.

7.1.6.5.9 Conclusão sobre o indicador IECC

O indicador, Índice de Expansão/Retração da cultura Canavieira (IECC/IRCC), fornecendo a informação da proporção da área da UTA que esta sendo acrescentada ou suprimida da atividade da cultura canavieira no período especificado, responde de forma direta e suficiente, as questões-chave:

- *Está ocorrendo expansão da cultura da cana-de-açúcar?*
- *Qual a intensidade do processo de expansão da cultura da cana-de-açúcar?*

Ao respondê-las o Indicador transmite a noção de intensidade relativa do processo de expansão/retração da cultura canavieira, possuindo, portanto, valor gerencial inequívoco para a o planejamento e/ou monitoramento territorial da UTA.

7.1.6.6 Indicadores da categoria 7 e aplicação no SISH-Cana

De forma sumarizada, o Quadro 16 apresenta os indicadores do grupo 7 com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 16 - Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira.

INDICADORES	FÓRMULAS
IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canavieira	$IOCC = S_{AC}/S_{UTA}$
IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira	$IECC = (S_{AC} - S_{PC})/ S_{UTA}$

Nota: (i) S_{UTA} = Área total da unidade territorial de análise; (ii) S_{AC} = Área atual de ocupação da cultura canavieira ; (iii) S_{PC} = Área precedente de ocupação da cultura canavieira.

Os indicadores da categoria 7: IOCC e IECC; são orientados para os módulos de monitoramento do processo de expansão da cultura canavieira. Os índices se aplicam aos módulos 1B e 2C da Parte 1 e 2 do SISH-Cana , servindo para a avaliação tanto do nível tático quanto do estratégico do planejamento e gestão setorial. Os índices da categoria 7 integram os indicadores do SISHM-Cana, nas seguintes posições (figura 15).

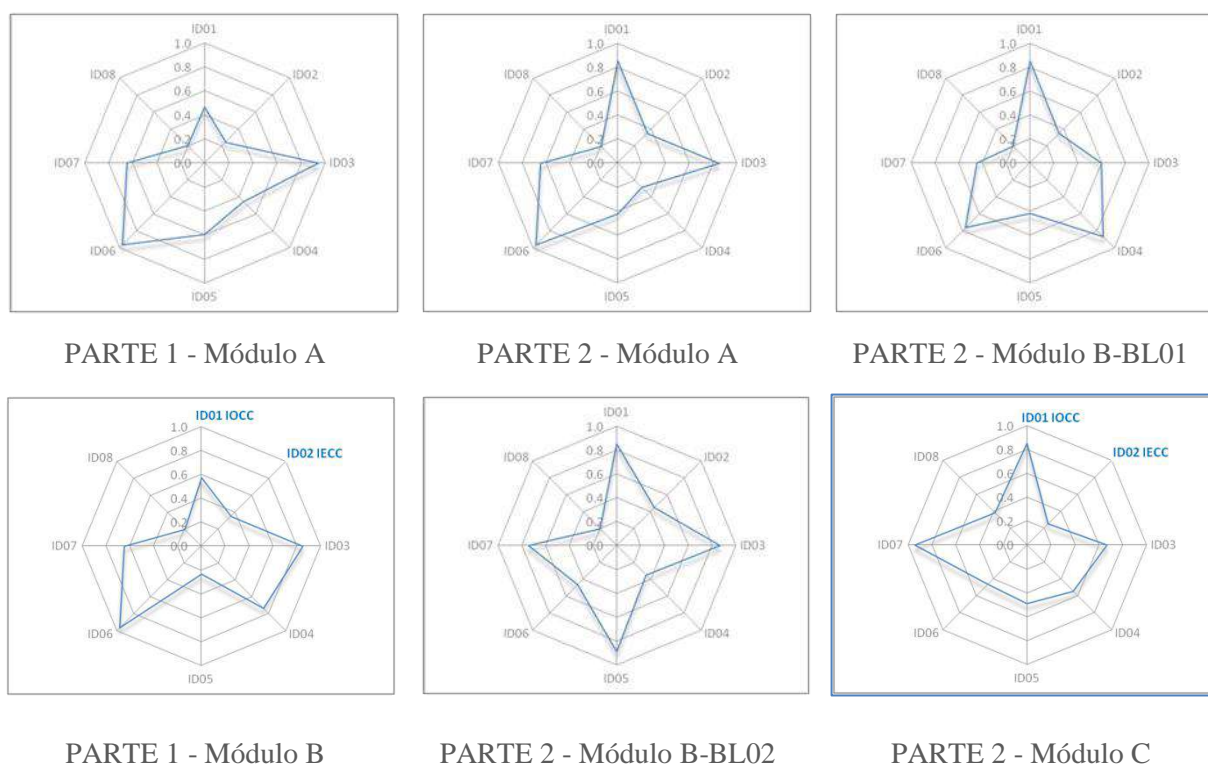


Figura 15 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 7: IOCC e IECC

Nota: (i) PARTE 1-Nível Estratégico; (ii) PARTE 2-Nível Tático; (iii) Módulo 1A: Indicadores de potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canavieira nas UTAs ; (iv) Módulo 1B: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; (v) Módulo 2A: Indicadores do potencial da bacia para o desenvolvimento da atividade canavieira; (vi) Módulo 2B-BL01: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de irrigação compulsória; (vii) Módulo 2B-BL02: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de sequeiro; (viii) Módulo 2C: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira.

7.1.7 Categoria 8. Indicadores de substituição de atividades agropecuárias e supressão da vegetação nativa pela cultura canavieira

Tendo tido uma visão sobre a magnitude do crescimento do setor sucroalcooleiro e a intensidade de mudança do uso da terra em função do avanço da atividade canavieira, as questões que faltam responder, antes de avaliar a questão da sustentabilidade hídrica, dizem respeito aos possíveis impactos causados pela expansão da cultura da cana-de-açúcar. Os impactos ambientais podem assumir diversas dimensões, entretanto, no nível estratégico de análise, o interesse imediato reside nas duas principais questões em pauta, o impacto sobre outras atividades agrícolas e o impacto sobre a vegetação natural.

7.1.7.1 Índice de Substituição de Áreas Agrícolas (ISAA). e Índice de Substituição de Áreas com pastagens (ISAP)

7.1.7.1.1 Justificativa dos indicadores ISAA e ISAP

A expansão de uma cultura agrícola, como a da cana-de-açúcar que tem por trás um poderoso setor agroindustrial, possui potencial intrínseco de gerar mudanças de uso do solo, expulsando outras culturas agrícolas ou pecuárias que, por conseguinte, se vêm forçadas a buscar outras áreas. Esse processo de mudança de uso do solo gera, portanto, um impacto, a nível local, sobre as atividades agropecuárias que cedem espaço para a atividade entrante. Sendo assim, um indicador que possa sinalizar o impacto causado por este processo pode ser considerado de grande valia para o ordenamento territorial das áreas em conflito. A magnitude do impacto sobre uma determinada atividade agropecuária pode ser correlacionada com a intensidade em que esta perde ou cede área para a cultura em expansão na dinâmica de mudança do uso da terra. Por esta razão, a partir de indicadores que expressem as mudanças de uso do solo se pode evidenciar, de modo indireto, o impacto socioeconômico gerado pelas mudanças de uso do solo, atividade e apropriação da terra.

Por isso se propõe os indicadores, Índice de Substituição de Áreas Agrícolas e Índice de Substituição de Áreas de pastagens que, em relação à área total de mudança de uso do solo por causa da expansão canavieira, sinalizam o saldo de substituição recíproca de áreas entre duas categorias de uso do solo distintas, notadamente, entre a cultura canavieira versus outras culturas agrícolas, tomadas em conjunto, ou a cultura canavieira versus as pastagens, esta última como indicador de atividades pecuárias.

7.1.7.1.2 Objetivo dos indicadores ISAA e ISAP

Analogamente, o objetivo do *Índice de Substituição de Áreas Agrícolas* é sinalizar a tendência e a intensidade de mudança de uso do solo, considerando os intercâmbios de área entre as categorias de uso do solo: cultura canavieira e áreas agrícolas. Deste modo, o índice ISAA visa responder as questões-chave:

- *A expansão da cultura canavieira está substituindo outras culturas agrícolas?*

- *Qual é a intensidade do processo de substituição entre as culturas agrícolas?*

Analogamente, o objetivo do *Índice de Substituição de Áreas de Pastagens* é sinalizar a tendência e a intensidade de mudança de uso do solo, considerando os intercâmbios de área entre as categorias de uso do solo: cultura canavieira e áreas com pastagens. Deste modo, o índice ISAP visa responder as questões-chave:

- *A expansão da cultura canavieira está substituindo as áreas com pastagens e/ou pecuária?*
- *Qual é a intensidade do processo de substituição entre as áreas com cana-de-açúcar e pastagens?*

Ao responder a estas questões os indicadores ISAA e ISAP fornecem, com base nos processos de mudança de uso do solo, uma medida do impacto da expansão da cultura canavieira sobre outras atividades agropecuárias concorrentes. Possuem, portanto, valor gerencial inequívoco para a gestão e o planejamento territorial da UTA considerada.

7.1.7.1.3 Descrição conceitual dos indicadores ISAA e ISAP

Os índices de *Substituição de Áreas Agrícolas* e de *Substituição de Áreas de Pastagens* baseiam-se na relação entre as áreas de substituição recíproca entre as culturas agrícolas, em termos gerais, ou pastagens e a cultura da cana-de-açúcar. O ISAA e o ISAP indicam a proporção do intercâmbio entre as áreas, antes ocupadas por culturas agrícolas ou pastagens e que foram substituídas pela cultura canavieira e, ao contrário, das áreas da cultura canavieira que foram substituídas pelas culturas agrícolas ou pastagens em relação à área total de mudança na UTA considerada. Os indicadores, na forma em que estão sendo propostos, consideram o saldo das áreas substituídas, dado pela diferença entre a área de culturas agrícolas ou pastagens que foram substituídas pela cultura canavieira e a área da cultura canavieira que foi substituída pelas culturas agrícolas ou pastagens, normalizado pela a área total de mudança de uso do solo por causa da dinâmica da expansão e retração da cultura canavieira. Portanto, o ISAA e o ISAP, ao indicar o saldo da substituição recíproca entre culturas concorrentes, tornam-se capazes de captar os dois sentidos de mudança entre as categorias de uso do solo especificadas, e, por isso sinalizam, indiretamente, para o impacto entre as mesmas, no senso estrito de concorrência de área cultivada.

7.1.7.1.4 Descrição formal dos indicadores ISAA e ISAP

O indicador, Índice de Substituição de Áreas Agrícolas (ISAA), é determinado pela razão entre a diferença da área com culturas agrícolas que foi substituída pela cultura canavieira e a área desta que foi retomada pelas culturas agrícolas sobre a área total da mudança de uso do solo, dada pela soma da área de expansão e retração da cultura da cana-de-açúcar no período considerado. Assim, o ISAA é dado pela seguinte expressão:

$$ISAA = (S_{SC} - S_{SA}) / S_{TM} \quad (75)$$

$$S_{TM} = S_{EC} + S_{RC} \quad (76)$$

Substituindo,

$$ISAA = (S_{SC} - S_{SA}) / (S_{EC} + S_{RC}) \quad (77)$$

Fórmula simplificada

$$*ISAA = S_{SC} / S_{EC} \quad (78)$$

Ou na forma de percentagem

$$*ISAA = (S_{SC} / S_{EC}) \cdot 100 \quad (79)$$

Onde,

$ISAA$ = Índice de Substituição de Áreas Agrícolas (adimensional);

S_{SC} = Área de substituição da cultura canavieira (ha). Corresponde à área das culturas agrícolas que foram substituídas pela cultura da cana-de-açúcar;

S_{SA} = Área de substituição das culturas agrícolas (ha). Corresponde à área da cultura da cana-de-açúcar que foram substituídas pelas culturas agrícolas;

S_{TM} = Área total de mudança de uso do solo relacionada à cultura da cana-de-açúcar (ha)

S_{EC} = Área de expansão da cultura da cana-de-açúcar (ha)

S_{RC} = Área de retração da cultura da cana-de-açúcar (ha)

(*) Fórmula simplificada quando a área de retração da cultura da cana-de-açúcar é desprezível:

Se $S_{RC} = 0,0$ logo $S_{SA} = 0,0$

O indicador, Índice de Substituição de Áreas de Pastagens (ISAP), é determinado pela razão entre a diferença da área com pastagens que foi substituída pela cultura canavieira e a área desta que foi substituída pelas pastagens sobre a área total da mudança de uso do solo, dada pela soma da área de expansão e retração da cultura da cana-de-açúcar no período considerado. Assim, o ISAP é dado pela seguinte expressão:

$$ISAP = (S_{SC} - S_{SP}) / S_{TM} \quad (80)$$

$$S_{TM} = S_{EC} + S_{RC} \quad (81)$$

Substituindo,

$$ISAP = (S_{SC} - S_{SP}) / (S_{EC} + S_{RC}) \quad (82)$$

Fórmula simplificada

$$*ISAP = S_{SC} / S_{EC} \quad (83)$$

Ou na forma de percentagem

$$*ISAP = (S_{SC} / S_{EC}) \cdot 100 \quad (84)$$

Onde,

ISAP = Índice de Substituição de Áreas de Pastagens (adimensional);

S_{SC} = Área de substituição da cultura canavieira (ha). Corresponde à área das culturas agrícolas que foram substituídas pela cultura da cana-de-açúcar;

S_{SP} = Área de substituição das culturas agrícolas (ha). Corresponde à área da cultura da cana-de-açúcar que foram substituídas pelas culturas agrícolas;

S_{TM} = Área total de mudança de uso do solo relacionada à cultura da cana-de-açúcar (ha)

S_{EC} = Área de expansão da cultura da cana-de-açúcar (ha)

S_{RC} = Área de retração da cultura da cana-de-açúcar (ha)

(Formula simplificada quando a área de retração da cultura da cana-de-açúcar é desprezível:*

Se S_{RC} = 0,0 logo S_{SP} = 0,0

7.1.7.1.5 Determinação dos indicadores ISAA e ISAP

Para determinar o ISAA ou o ISAP os seguintes passos são necessários:

❖ **1º Passo - Determinar as áreas de expansão e retração da cultura da cana-de-açúcar:**

Os procedimentos para as estimativas da área total de mudança e das áreas de expansão e retração da cultura canavieira se resumem, em ambiente SIG*, a técnicas de geoprocessamento que dependem do formato dos dados obtidos (*raster* ou *vetor*).

Caso seja o formato vetorial, a partir de dois *shapes files* referentes ao uso do solo dos anos-agrícolas do período de interesse, ano atual (ano1) e o ano antecedente (ano 0), se pode realizar um seqüência de operações de geoprocessamento para se obter os *shapes* para se estimar as áreas: (i) área total de mudança (ii) área de expansão; (iii) área de retração; da cultura da cana-de-açúcar, como a seguir:

- Para se obter o *shape* da área total de mudança (S_{TM}) realiza-se uma operação de *união* entre o *shape/ano1* e o *shape/ano 0*, e, em seguida, subtrai-se o *shape/ano 0* da *shape-união/ano1 e 0*;
- Para se obter o *shape* da área expansão (S_{EC}) realiza-se um operação de subtração do *shape/ano1* do *shape/ano 0*;
- Para se obter o *shape* da área de retração (S_{RC}) realiza-se uma operação de subtração do *shape/ano 1* do *shape-união/ano1 e 0*;

Caso seja o formato raster, a partir das duas imagens classificadas referentes ao uso do solo dos anos-agrícolas do período de interesse, ano atual (ano1) e o ano antecedente (ano 0), realizar um série de operações de geoprocessamento para obter o somatório dos pixels conforme a classificação: (i) área de expansão: pixels que não eram classificados como cana no ano anterior e passaram a ser classificados como cana no ano em avaliação; (ii) área de retração: pixels que eram classificados como cana no ano anterior e deixaram de ser classificados como cana no ano em avaliação

❖ **2º Passo - Determinar as áreas de substituição recíproca:**

- (i) Áreas de culturas agrícolas que foram substituídas pela cultura canavieira (S_{SC}): (i) A partir dos dados *vetoriais*, realizar operações de geoprocessamento para fazer a interseção do *shape/área-de-expansão* sobre o mapeamento de uso do solo do ano anterior; (ii) A partir dos dados *raster*, identificar a classe (culturas agrícolas ou pastagens) do ano anterior (ano 0) dos pixels que não eram classificados como cana e passaram a ser classificados como cana no ano atual, em avaliação;
- (ii) Áreas da cultura canavieira que foram substituídas pelas culturas agrícolas (S_{SA}): (i) A partir dos dados *vetoriais*, realizar operações de geoprocessamento para fazer a interseção do *shape/área-de-retração* sobre o mapeamento de uso do solo do ano atual; (ii) A partir dos dados *raster*, identificar a classe (culturas agrícolas ou pastagens) do ano anterior (ano 0) dos pixels que eram classificados como cana e passaram a ser classificados como com outros usos no ano atual, em avaliação;

❖ **3º Passo: Calcular os indicadores ISAA e ISAP:**

De posse das áreas de substituição recíproca e de expansão e retração (S_{EC} ; S_{RC} ; S_{SC} ; S_{SA} ; S_{SC} S_{SP}) calcular os indicadores conforme as expressões (80) e (82), para o ISAA e o ISAP, respectivamente.

7.1.7.1.6 Fonte de dados e informações para os indicadores ISAA e ISAP

As fontes básicas e gerais para a obtenção dos dados requeridos para se determinar os indicadores ISAA e ISAP são os diversos Mapeamentos de Uso e Cobertura do Solo, realizados no âmbito de projetos técnicos, zoneamentos diversos, estudos acadêmicos, etc. Neste particular o Projeto PROBIO/MMA constitui uma das fontes principais caso a escala

1:250.0000 seja adequada. Uma dificuldade que se impõe é que é necessário obter os dados multitemporais representativos do período de interesse. O projeto CANASAT/INPE constitui a fonte principal e oficial que disponibiliza os dados em período anual sobre a expansão da cultura canavieira. Porém não disponibilizam dados sobre as mudanças de uso do solo em função da expansão da cultura canavieira. Entretanto, no tocante a determinação das áreas de expansão e retração da cultura da cana-de-açúcar pode-se se lançar mão dos dados CANASAT que apresentam uma excelente cobertura espacial e temporal. Contudo, caso se esteja trabalhando com municípios, como UTA, esses dados podem ser obtidos diretamente, caso contrário, deverão ser extraídos dos *shapes* originais, somente cedidos por solicitação, pois, o Projeto CANASAT/INPE não os disponibiliza publicamente.

Excetuando-se o Projeto CANASAT/INPE, identifica-se, portanto, uma lacuna na obtenção de dados, de modo continuado, por parte de Órgãos Oficiais ou Instituições delegadas que possam atender a esta demanda de maneira integral. Não se trata, entretanto, de uma questão de ausência de metodologia e sim da inexistência de um programa de monitoramento contínuo do uso e cobertura do solo que, dentre diversas aplicações, poderia prover os dados necessários para demanda explicitada. Considerando o exposto, a alternativa reside na aplicação propositada de um método de classificação e monitoramento de uso do solo para gerar as bases cartográficas temáticas imprescindíveis para que se possa calcular os indicadores ISAA e ISAP.

7.1.7.1.7 Interpretação dos indicadores ISAA e ISAP

A interpretação dos Índices de Substituição de Áreas Agrícolas e de Substituição Áreas de Pastagens é bastante simples e dependente do sinal e da grandeza do valor expresso pelos índices. O ISAA e o ISAP indicam a proporção da área total de mudança de uso do solo induzida pelos processos de expansão e retração da cultura da cana-de-açúcar na qual a cultura em avaliação cedeu ou avançou sobre áreas da cultura canavieira. Revela, portanto, o saldo entre as áreas onde está ocorrendo substituição da cultura considerada pela da cana-de-açúcar e onde está ocorrendo retomada de área pela mesma cultura em relação à área total onde ocorreu a mudança de uso do solo. O ISAA e o ISAP constituem indicadores de estado, visto que, sinalizam as mudanças do estado de uso do solo. Mas, para efeito do SISHM-Cana, são interpretados como indicativos do impacto entre atividades agropecuárias concorrentes.

Como uma razão entre áreas o ISAA e o ISAP são adimensionais e são normalizados em uma escala decimal, variando no intervalo: $-1 \leq \text{ISAA} \leq 1$ e $-1 \leq \text{ISAP} \leq 1$.

A interpretação dos indicadores ISAA e ISAP se baseia nos seguintes critérios:

- ISAA e ISAP = 1,0 (100% da S_{EC}). Essa condição ocorre quando: $S_{RC} = 0$ e $S_{SC} = S_{EC}$. Significa que só houve expansão da cultura canavieira cuja área total de expansão ocorreu sobre as áreas agrícolas ou pastagens, conforme o índice utilizado;
- ISAA e ISAP = - 1,0 (100% da S_{RC}). Essa condição ocorre quando: $S_{EC} = 0$ e S_{SA} ou $S_{SP} = S_{RC}$. Significa que só houve retração da cultura canavieira cuja área total de retração ocorreu por substituição da cultura canavieira pelas culturas agrícolas ou pelas pastagens, conforme o índice utilizado;
- ISAA e ISAP = 0,0 (zero). Essa condição ocorre em duas situações, quando: (i) $S_{SC} = 0,0$ (zero) e S_{SA} ou $S_{SP} = 0,0$ (zero); (ii) $S_{SC} = S_{SA}$ ou S_{SP} . No primeiro caso, significa que não houve substituições recíprocas entre a cultura canavieira e as culturas agrícolas ou pastagens. No segundo caso, significa que as áreas substituídas foram equivalentes e, portanto, o saldo foi nulo. De qualquer forma, nas duas situações, o saldo é nulo logo os indicadores apontam para a ausência de substituição;
- $0 < \text{ISAA}$ e $\text{ISAP} < 1$ (sinal +). Essa condição ocorre quando: $S_{SC} > S_{SA}$ ou S_{SP} e $S_{SC} \neq S_{EC}$ se $S_{RC} = \text{zero}$. Significa que houve um saldo a favor da substituição das áreas agrícolas ou com pastagens pela cultura canavieira (ISAA ou ISAP positivo), cuja grandeza do valor dos índices revela a magnitude da proporção de substituição de áreas agrícolas ou pastagens pela cultura canavieira;
- $-1 < \text{ISAA}$ e $\text{ISAP} < 0$ (sinal -). Essa condição ocorre quando: S_{SA} ou $S_{SP} > S_{SC}$ e S_{SA} ou $S_{SP} \neq S_{RC}$ se $S_{EC} = \text{zero}$. Significa que houve um saldo a favor da substituição de áreas anteriormente ocupadas com a cultura canavieira pelas culturas agrícolas ou pastagens (ISAA ou ISAP negativo) cuja grandeza do valor dos índices revela a magnitude da proporção de substituição de áreas da cultura canavieira pelas culturas agrícolas ou pastagens;
- 1º Critério adotado: Quando as áreas de expansão e de retração forem nulas ($S_{EC} = 0$ e $S_{RC} = 0$), os índices não se aplicam, pois, ocorre uma impossibilidade matemática, uma vez que, o denominador da razão assume o valor zero. Adota-se a notação NA (Não se aplica);
- 2º Critério adotado: Quando a retração da cultura canavieira é nula ou desprezível, utiliza-se a fórmula simplificada conforme expressão (83; 84). Neste caso os índices são normalizados apenas pela área de expansão e variam no intervalo positivo

fechado: $0 < ISAA$ e $ISAP < 1$ (sinal +), podendo também ser expressos em percentagens.

7.1.7.1.8 Considerações sobre os indicadores ISAA e ISAP

Para a correta interpretação do indicador ISAA ou ISAP deve-se ter sempre em mente que índices refletem o saldo da substituição recíproca de áreas entre duas categorias de uso do solo concorrentes, considerando a extensão de toda a Unidade Territorial de Análise. Portanto, observa-se que o resultado nulo dos índices não necessariamente significa a não ocorrência dos processos de expansão e/ou retração da cultura canavieira. Pois, o saldo do processo de substituição pode ser nulo ou mesmo não ter havido intercâmbios entre as áreas das categorias de uso do solo cotejadas.

Para o Sistema de Indicadores ora em elaboração, o indicador ISAA esta sendo proposto para sinalizar o processo de substituição das culturas agrícolas de forma geral, como uma categoria única de uso do solo, pela cultura canavieira. Contudo, no nível estratégico ou tático de planejamento pode ser interessante ou necessário analisar o embate específico entre uma determinada cultura agrícola e a cultura canavieira. Para tal, a mesma lógica do indicador ISAA pode ser utilizada para verificar o grau de substituição recíproca entre duas categorias de uso do solo de acordo com interesses especiais. Por exemplo, entre a cultura da cana-de-açúcar e outras culturas agrícolas específicas, como outras *commodities* (soja, milho, algodão, etc). Desta forma, o indicador ISAA pode expressar de modo específico os intercâmbios entre, por exemplo, a cultura da soja e a da cana-de-açúcar, cuja notação pode receber um subscrito designador qualquer, como: $ISAA_{SOJA}$. Alerta-se, no entanto, que neste caso se faz imperativo contar com métodos de detecção e monitoramento dessas categorias de uso com resoluções espaço-temporais adequadas.

7.1.7.1.9 Conclusões sobre os indicadores ISAA e ISAP

Considera-se que o indicador definido como o Índice de Substituição de Áreas Agrícolas apresenta relevância e suficiência para responder de modo direto as questões-

chaves: A expansão da cultura canavieira está substituindo outras culturas agrícolas? Qual é a intensidade do processo de substituição entre as culturas agrícolas?

Da mesma maneira o indicador Índice de Substituição de Áreas de Pastagens responde com suficiência as questões-chave: *A expansão da cultura canavieira está substituindo áreas de pastagem? Qual é a intensidade do processo de substituição das áreas de pastagem?*

Deste modo, os índices ISAA e o ISAP, representam indicadores de utilidade gerencial para tomada de decisão no nível estratégico ou tático em relação à geração de políticas de ordenamento territorial visando à compatibilização das diferentes atividades agrícolas.

7.1.7.2 Índice de Supressão da Vegetação Nativa (ISVN).

7.1.7.2.1 Justificativa do indicador ISVN

Por meio dos indicadores ISAA e ISAP, o analista do nível estratégico ou tático obtém a indicação da tendência e da intensidade das substituições recíprocas entre atividades agropecuárias concorrentes. Indiretamente, os indicadores ainda antevêm o cenário potencial de impactos socioeconômicos decorrentes da dinâmica de mudanças de uso do solo em função da expansão da atividade canavieira. Contudo, contemplando outra dimensão dos possíveis impactos ambientais causados pela expansão da atividade canavieira, o impacto sobre a vegetação natural constitui uma informação igualmente de grande relevância para a gestão tático-estratégica da UTA. Por esta razão, considera-se pertinente a seleção de um indicador que possa sinalizar a ocorrência de desmatamento em função da expansão da cultura da cana-de-açúcar.

Com base nesta justificativa, propõe-se um indicador que relacione os possíveis desmatamentos que estejam ocorrendo com o processo de expansão da cultura canavieira na UTA considerada. Apresenta-se, assim, o Índice de Supressão da Vegetação Nativa (ISVN), como um indicador adequado para a função explicitada.

Desta forma, considera-se que o índice proposto apresenta valor gerencial para a tomada de decisões a favor da salvaguarda da natureza e para o ordenamento territorial das atividades agroeconômicas.

7.1.7.2.2 Objetivo do indicador ISVN

O objetivo do indicador ISVN é sinalizar o grau de desmatamento da terra em função direta da expansão da cultura canavieira, entendido como impacto direto sobre a biodiversidade e outras propriedades ecossistêmicas na UTA em apreciação. O indicador *Índice de Supressão da Vegetação Nativa* busca, portanto, responder as seguintes questões-chave:

- *A expansão da cultura canavieira está causando desmatamento?*
- *Qual é a intensidade do processo de desmatamento por causa da expansão da cultura canavieira?*

7.1.7.2.3 Descrição conceitual do indicador ISVN

O Índice de Supressão da Vegetação Nativa estabelece a área relativa de supressão da vegetação nativa por causa direta da expansão da cultura canavieira. Por “vegetação nativa”, entende-se toda e qualquer formação fitofisionômica natural do bioma em foco. Desta maneira, o ISVN indica, em relação à área total de expansão, a proporção da área de expansão canavieira que ocorreu às custas da supressão da vegetação nativa em um determinado período de interesse.

7.1.7.2.4 Descrição formal do indicador ISVN

O Índice de Supressão da Vegetação Nativa é determinado pela razão entre a área de vegetação nativa que foi suprimida e substituída pela cultura da cana-de-açúcar e a área total de expansão da cultura canavieira no período em avaliação, e, é dado pela expressão:

$$ISVN = S_{SV} / S_{EC} \quad (85)$$

Ou na forma de percentagem,

$$ISVN = (S_{SV} / S_{EC}).100 \quad (86)$$

Onde,

ISVN = Índice de Supressão da Vegetação nativa (adimensional)

S_{SV} = Área de Supressão da Vegetação Nativa (ha). Corresponde a área suprimida de vegetação nativa pela expansão da cultura canavieira;

S_{EC} : Área total de Expansão da Cultura Canavieira (ha).

7.1.7.2.5 Determinação do indicador ISVN

Para determinar o ISVN os seguintes passos são necessários: (i) Determinação da área de expansão da cultura canavieira (S_{EC}); (ii) Determinação da área de supressão da vegetação nativa (S_{SV}); (iii) Calcular o indicador ISVN.

❖ **1º Passo - Determinação da área de expansão da cultura canavieira (S_{EC}):**

Seguir os mesmos procedimentos para a determinação da área de expansão da cultura canavieira que se encontram descritos no item Determinação dos indicadores ISAA e ISAP - 1º passo (pg 215).

❖ **2º Passo - Determinação da área de supressão da vegetação nativa (S_{SV}):**

Para a determinação da área de supressão da vegetação nativa, seguir os mesmos procedimentos que se encontram descritos no item Determinação dos indicadores ISAA e ISAP - 2º passo (pg 216), considerando apenas a categoria de uso e cobertura do solo “vegetação nativa”.

❖ **3º Passo - Calcular o indicador ISVN:**

De posse das áreas S_{EC} e S_{SV} , calcula-se o indicador conforme a expressão (85) do item *descrição formal do indicador ISVN*.

7.1.7.2.6 Fontes de dados e informações para o indicador ISVN

As fontes básicas e gerais para a obtenção dos dados requeridos para se determinar os indicadores ISAA e ISAP são os diversos Mapeamentos de Uso e Cobertura do Solo, realizados no âmbito de projetos técnicos, zoneamentos diversos, estudos acadêmicos, etc. Neste particular o Projeto PROBIO/MMA constitui uma das fontes principais caso a escala 1:250.0000 seja adequada. Uma dificuldade que se impõe é que é necessário obter os dados multitemporais representativos do período de interesse. O projeto CANASAT/INPE constitui a fonte principal e oficial que disponibiliza os dados em período anual sobre a expansão da

cultura canavieira. Porém não disponibilizam dados sobre as mudanças de uso do solo em função da expansão da cultura canavieira. Entretanto, no tocante a determinação das áreas de expansão e retração da cultura da cana-de-açúcar pode-se se lançar mão dos dados CANASAT que apresentam uma excelente cobertura espacial e temporal. Contudo, caso se esteja trabalhando com municípios, como UTA, esses dados podem ser obtidos diretamente, caso contrário, deverão ser extraídos dos shapes originais, somente cedidos por solicitação, pois, o Projeto CANASAT/INPE não os disponibiliza publicamente.

7.1.7.2.7 Interpretação do indicador ISVN

A interpretação do indicador Índice de Supressão da Vegetação Nativa é bastante simples e imediata, pois, o ISVN indica de forma direta a proporção da área da expansão da cultura da cana-de-açúcar que anteriormente continha vegetação nativa. O ISVN constitui um indicador direto da mudança de estado relacionada à dinâmica de uso e cobertura do solo, e, indireto, do impacto da atividade canavieira sobre os remanescentes de vegetação natural do bioma focalizado. Como uma razão entre áreas o indicador ISVN é adimensional e pode ser expresso em porcentagem (86) ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq \text{ISVN} \leq 1$.

A interpretação do ISVN é baseada nos seguintes critérios:

- $\text{ISVN} = 1,0$ (100% S_{EC}). Essa condição ocorre quando: $S_{SV} = S_{EC}$. Significa que a área de expansão da cultura canavieira ocorreu totalmente sobre áreas de vegetação nativa. Representa um valor crítico em relação ao impacto causado sobre a vegetação nativa;
- $\text{ISVN} = 0,0$ (zero) (0% S_{EC}). Essa condição ocorre quando: $S_{SV} = 0,0$ (zero). Significa que não houve supressão de vegetação nativa por causa da expansão da cultura canavieira. Representa um valor de impacto nulo causado sobre a vegetação nativa e relevante em relação ao processo de expansão sustentável da cultura canavieira;
- $0 < \text{ISVN} < 1$ ($x\%$ S_{EC}). Essa condição ocorre quando: $S_{SV} < S_{EC}$. Significa que a expansão da cultura canavieira ocorreu parcialmente sobre áreas de vegetação nativa, cuja grandeza revela a proporção da área de expansão da cultura da cana-de-açúcar que ocorreu sobre a área anteriormente coberta com vegetação nativa. Representa valores intermediários de impacto causado sobre a vegetação nativa.

7.1.7.2.8 Considerações sobre indicador ISVN

Cabe considerar que quando o indicador ISNV for igual a “zero” significa que não houve desmatamento por causa da atividade canavieira, ou seja, que o impacto da atividade canavieira neste particular foi nulo. Entretanto, este resultado não quer dizer, em absoluto, que não houve desmatamento na UTA em função de outras atividades que possam estar causando impactos na vegetação nativa remanescente.

7.1.7.2.9 Conclusões sobre indicador ISVN

O indicador, Índice de Supressão da Vegetação Nativa responde satisfatoriamente as questões-chave: A expansão da cultura canavieira está causando desmatamento? - Qual é a intensidade do processo de desmatamento por causa da expansão da cultura canavieira?

Deste modo o ISVN, representa um indicador relevante e de utilidade gerencial para tomada de decisão em relação à geração de políticas de ordenamento territorial e para atender a opinião pública no tocante às questões ambientais.

7.1.7.3 Indicadores da categoria 8 e aplicação no SISH-Cana

Quadro 17 - Categoria 8: Indicadores de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa.

INDICADORES	FÓRMULAS
ISAA - Índice de Substituição de Áreas Agrícolas	$ISAA = (S_{SAC} - S_{SCA}) / (S_{EC} + S_{RC})$ $ISAA^* = S_{SAC} / S_{EC}$
ISAP - Índice de Substituição de Áreas com Pastagens	$ISAP = (S_{SPC} - S_{SCP}) / (S_{EC} + S_{RC})$ $ISAP^* = S_{SPC} / S_{EC}$
ISVN - Índice de Supressão de Vegetação Nativa	$ISVN = S_{SV} / S_{EC}$

Nota: (i) S_{EC} = Área de expansão da cultura canavieira; (ii) S_{RC} = Área de retração da cultura canavieira; (iii) S_{SAC} = Área de substituição de culturas agrícolas pela cultura canavieira; (iv) S_{SCA} = Área de substituição da cultura canavieira pelas culturas agrícolas; (v) S_{SPC} = Área de substituição de pastagens pela cultura canavieira; (vi) S_{SCP} = Área de substituição da cultura canavieira pelas pastagens; (vii) S_{SV} = Área de supressão da vegetação nativa

De forma resumida, o Quadro 17 apresenta os indicadores do grupo 8 com as respectivas fórmulas matemáticas.

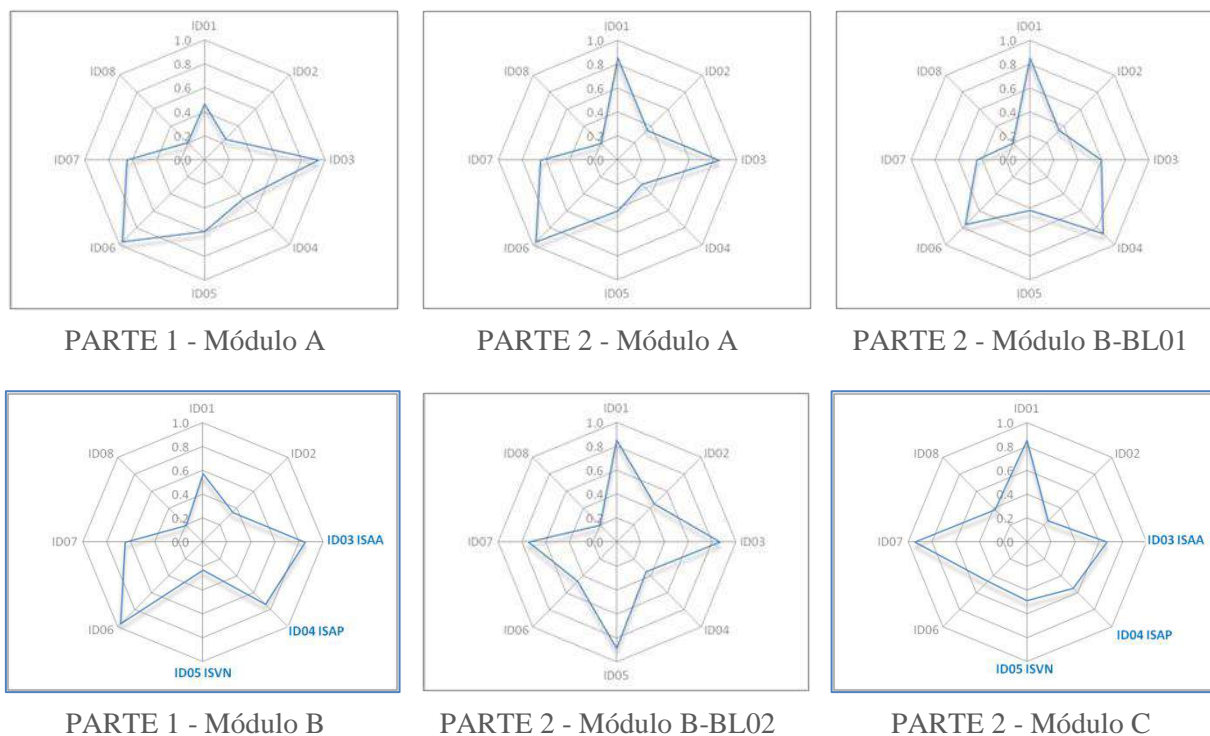


Figura 16 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 8: ISAA; ISAP e ISVN

Nota: (i) PARTE 1-Nível Estratégico; (ii) PARTE 2-Nível Tático; (iii) Módulo 1A: Indicadores de potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canavieira nas UTAs; (iv) Módulo 1B: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; (v) Módulo 2A: Indicadores do potencial da bacia para o desenvolvimento da atividade canavieira; (vi) Módulo 2B-BL01: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de irrigação compulsória; (vii) Módulo 2B-BL02: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de sequeiro; (viii) Módulo 2C: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira.

Os indicadores da categoria 8: ISAA, ISAP e ISVN _ são orientados para os módulos de monitoramento do processo de expansão da cultura canavieira. Os índices compõem os Módulos 1B e 2C das Partes 1 e 2 do SISH-CANA, servindo para a avaliação tanto no nível tático quanto no estratégico do planejamento e gestão. Os índices da categoria 8 integram os indicadores do SISH-CANA, nas seguintes posições (figura 16):

7.1.8 Categoria 9. Indicadores da adequabilidade do processo de expansão da cultura canavieira

7.1.8.1 Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira (IEAC)

7.1.8.1.1 Justificativa do indicador IEAC

O processo de expansão de uma cultura agrícola é induzido por diversos fatores, relacionados à base de recursos naturais, à logística e à infra-estrutura local e regional, às imposições do mercado, dentre outros. A combinação desses fatores se resume em uma “noção de adequação” que, por um lado, traduz a experiência acumulada pelo setor ao longo da sua trajetória histórica, e, por outro, agrega o conhecimento técnico-científico a respeito da agronomia e da resposta ecofisiológica da cultura ante os fatores ambientais relacionados ao solo, ao clima, etc. Sendo assim, a base do conhecimento técnico para a seleção de áreas adequadas para uma determinada cultura agrícola repousa na avaliação da capacidade de suporte do meio físico no sentido de atender as exigências edáficas e agroclimáticas da cultura de interesse. Decorre deste cabedal técnico a elaboração de diferentes zoneamentos de potencialidade baseados em classificações técnicas como a aptidão agrícola das terras (Ramalho) e aptidão agroclimática que consistem essencialmente na delimitação de áreas homogêneas consideradas, com base em critérios técnicos, adequadas para o cultivo de uma dada cultura agrícola. Desta forma, os zoneamentos de potencialidade constituem documentos cartográficos orientadores para o planejamento ou ordenamento da expansão espacial de uma atividade agrícola.

Contudo, em consequência da iniciativa de seus empreendedores, muitos setores expandem progressivamente suas áreas de cultivo de modo mais ou menos espontâneo, selecionando e agregando áreas em função do conhecimento tácito ou técnico a respeito dos seus atributos relacionados à capacidade de produção contraposta às demandas das culturas. Assim, além das questões relacionadas à logística e às estratégias comerciais, atributos qualitativos relacionados à fertilidade dos solos, suas propriedades físico-hídricas e à topografia dos terrenos, contribuem para determinar a lógica de expansão de uma atividade agrícola.

Especificadamente, no tocante à cultura canavieira, além das exigências climáticas e edáficas, as condições topográficas dos terrenos, com declividades suaves não superiores a

12% e a proximidade das usinas agroindustriais para o processamento da produção da cana-de-açúcar, são determinantes para a expansão da área cultivada no setor.

Considerando o exposto, um indicador cujo propósito seja monitorar ou sinalizar como o processo de expansão da cultura canavieira em curso, em uma determinada UTA, está ocorrendo, ou seja, se a cultura está se expandindo sobre áreas com declividade adequada e solos aptos, tem a sua proposição justificada, na medida em que fornece ao analista a informação direta da proporção de áreas adequadas que estão sendo incorporadas à atividade canavieira. Mais do que isso, permitiria ao analista interessado no setor da agricultura, fazer deduções importantes para a avaliação da adequação tecnológica da cultura canavieira na UTA considerada. Assim, por exemplo, o analista poderia antever questões relacionadas com ao potencial de sucesso e de utilização de tecnologias, como por exemplo: (i) a proporção da área na qual se poderá utilizar a colheita mecanizada; (ii) a proporção da área na qual se poderia eliminar ou seria imperativo o uso de “queimadas” para a colheita; (iii) o potencial de reposta ao emprego de fertilizantes; (iv) o nível de sucesso potencial da cultura canavieira (produtividade), etc. Em última análise, permitiria ao analista avaliar o potencial de sustentabilidade da cultura canavieira no sentido da adequação por conta da correta aptidão agrícola das terras e da possibilidade de emprego de alta tecnologia.

Sendo assim, se propõe um indicador orientado para a avaliação e o monitoramento do processo de expansão da cultura canavieira com base na proporção relativa de agregação de áreas consideradas adequadas do ponto de vista tecnológico: Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira (IEAC).

7.1.8.1.2 Objetivo do indicador IEAC

O objetivo do indicador Índice de Expansão Adequada da cultura Canavieira é fornecer para o analista do nível estratégico um indicativo do como o processo de expansão da cultura canavieira em curso na UTA avaliada está ocorrendo, do ponto de vista da recomendação técnica das áreas consideradas adequadas para o satisfatório desempenho da cultura canavieira. Sendo assim, o indicador busca responder a questão-chave:

- *A expansão da cultura canavieira está ocorrendo sobre áreas adequadas ou tecnicamente recomendadas?*

7.1.8.1.3 Descrição conceitual do indicador IEAC

O indicador, Índice de Expansão Adequada da cultura Canavieira, estabelece, em relação à área total de expansão da cultura canavieira em determinado período de tempo e em uma dada UTA, a proporção da área de expansão que ocorreu sobre áreas consideradas adequadas ou tecnicamente recomendadas.

7.1.8.1.4 Descrição formal do indicador IEAC

O indicador, Índice de Expansão Adequada da cultura Canavieira (IEAC), é determinado calculando-se a razão entre a área de expansão que ocorreu sobre as áreas consideradas adequadas e a área total do processo de expansão da cultura canavieira no período de interesse e na UTA considerada, dado pela seguinte expressão:

$$IEAC = S_{EAC} / S_{EC} \quad (87)$$

Ou em forma de percentagem,

$$IEAC = (S_{EAC} / S_{EC})100 \quad (88)$$

Onde,

IAEA = Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira (adimensional)

S_{EAC} = Área de expansão adequada da cultura canavieira (ha).

Obs: Corresponde à área definida por algum critério de adequação sobre a qual houve expansão da Cana-de-açúcar.

S_{EC} = Área total da expansão da cultura da canavieira (ha)

7.1.8.1.5 Determinação passo-a-passo do indicador IEAC

Para se determinar o indicador IAEA os seguintes passos são necessários: (i) Determinação da área de expansão da cultura canavieira (S_{EC}); (ii) Determinação da área de expansão adequada da cultura canavieira (S_{EAC}); (iii) Determinação do indicador IEAC.

❖ **1º Passo: Determinação da área de expansão da cultura canavieira (S_{EC});**

Determina-se a da área de expansão da cultura canavieira (S_{EC}) conforme os procedimentos escritos no 1º Passo do ítem Determinação dos indicadores ISAA e ISAP - 1º passo (pg 215).

❖ **2º Passo: Determinação da área de expansão adequada da cultura canavieira (S_{EAC}):**

A área de expansão adequada pode ser determinada a partir da integração dos seguintes dados espaciais: (i) a área de expansão da cultura canavieira (*shapes*) extraídos de Levantamentos do Uso do Solo subsequentes ou obtidos por métodos de monitoramento especificadamente aplicados à expansão da cultura canavieira; (ii) Dados (*shapes*) de algum Zoneamento da Aptidão Agrícola, ou similar, tomado como referência; (iii) Base cartográfica das UTAs adotadas. Assim, em ambiente SIG*, por meio de operações de geoprocessamento (interseção) entre os *shapes* pode-se obter a área de expansão adequada da cultura canavieira.

❖ **3º Passo: Determinação do indicador IEAC:**

Sendo conhecidas as áreas: (i) *área de expansão da cultura canavieira* (S_{EC}) e; (ii) *área de expansão adequada da cultura canavieira* (S_{EAC}) - calcula-se o indicador conforme a expressão (87).

7.1.8.1.6 Interpretação do indicador IEAC

O Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira (IAEA) constitui, especificamente, um indicador de mudança de “estado” do uso do solo relacionado à expansão da cultura canavieira sobre determinadas áreas qualificadas por algum critério de adequação. Indiretamente funciona também como um indicador do potencial do desempenho da cultura canavieira ou, ainda, como um indicador do potencial de articulação ou de resposta do setor canavieiro ante a necessidade de obtenção de novas áreas para a sua expansão. O IEAC indica a proporção da área de expansão que ocorreu sobre as áreas consideradas adequadas em relação à área total da expansão da cultura canavieira no período especificado e na UTA considerada. Como uma razão entre áreas, o indicador IEAC é adimensional, e pode ser apresentado como percentagem (88) ou normalizado em uma escala decimal, variando no intervalo: $0 \leq IEAC \leq 1$.

A interpretação do indicador IEAC é baseada nos seguintes critérios:

- $IEAC = 0,0$ (0% S_{EC}). Essa condição ocorre quando: $S_{EAC} = 0,0$. Significa que a expansão da cultura canavieira, determinada no período especificado, não ocorreu sobre áreas adequadas ou tecnicamente recomendadas conforme os critérios adotados. Constitui um valor crítico do IEAC, indicando que o processo de expansão da cultura canavieira, na UTA considerada, ocorreu de forma totalmente inadequada;

- $IEAC = 1,0$ (100% S_{EC}). Essa condição ocorre quando: $S_{EAC} = S_{EC}$. Significa que a expansão da cultura canavieira, determinada no período especificado, ocorreu integralmente sobre áreas adequadas e recomendadas de acordo com os critérios adotados. Constitui um valor de referência, ou ideal, do IEAC, indicando que o processo de expansão da cultura canavieira, na UTA considerada, ocorreu de forma totalmente adequada;
- $0 < IEAC < 1$: Essa condição ocorre quando: $S_{EAC} < S_{EC}$. Significa que a expansão da cultura canavieira, determinada no período especificado, ocorreu parcialmente sobre as áreas adequadas ou recomendadas de acordo com os critérios adotados. Constituem valores intermediários do IEAC, cuja grandeza indica a proporção da área de expansão da cultura canavieira sobre áreas consideradas adequadas e tecnicamente recomendadas.

7.1.8.1.7 Considerações sobre o indicador IEAC

De outra forma, o índice IEAC, na forma em que foi proposto, poderia ainda ser utilizado como um indicador de desempenho de metas estabelecidas no âmbito de um hipotético planejamento territorial, com vistas ao desenvolvimento sustentável e ordenado da cultura canavieira. Por exemplo, uma possível meta poderia ser baseada no critério estabelecido e preconizado pelo ZAE-Cana (Embrapa, 2009), uma vez que, este representa um documento oficial do governo federal norteador da gestão setorial da atividade canavieira. Sendo assim, como o ZAE-Cana preconiza que a expansão da cultura canavieira deva dar-se, preferencialmente, sobre solos aptos, anteriormente ocupados com pastagens, e, com declividade até no máximo 12 %, estes poderiam ser os critérios para o estabelecimento de uma meta de planejamento e gestão do setor. A diretriz de planejamento, no caso, poderia ser a implementação de uma política de incentivos que orientasse a expansão da cultura canavieira com base nos critérios de adequação estabelecidos. Deste modo, o Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira (IEAC) e o Índice de Substituição de Áreas com Pastagens (ISAP), poderiam ser utilizados como indicadores de desempenho da implementação de metas de gestão estabelecidas conforme o exemplo descrito.

7.1.8.1.8 Conclusões sobre o indicador IEAC

O indicador, Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira, responde de forma direta e suficiente a questão-chave: A expansão da cultura canavieira está ocorrendo sobre áreas adequadas ou tecnicamente recomendadas?

Indiretamente, o indicador IEAC ainda permite aludir sobre o potencial do desempenho técnico da cultura canavieira na UTA em avaliação. Portanto, o IEAC possui valor gerencial, sobretudo, para o monitoramento do processo de expansão da cultura canavieira sob uma perspectiva de desenvolvimento tecnicamente sustentável.

7.1.8.2 Indicador da categoria 9 e aplicação no SISH-Cana

O Quadro 18 apresenta o indicador do grupo 9 com a respectiva fórmula matemática.

Quadro 18 - Grupo 9: Indicadores da adequabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.

INDICADOR	FÓRMULA
IEAC - Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira	$IEAC = S_{EAC} / S_{EC}$

Nota: (i) S_{EC} = Área de expansão da cultura canavieira; (ii) S_{EAC} = Área de expansão adequada da cultura canavieira

O indicador IEAC do grupo 9 é orientado para os módulos de avaliação e/ou monitoramento do processo de expansão da cultura canavieira. O índice IEAC se aplica, prioritariamente, na Parte 1 - Módulo 1B do SISH-Cana , atendendo ao nível estratégico do planejamento e gestão, porém, alternativamente, também pode ser aplicado na Parte 2 Módulo 2C.

O índice IEAC integra os indicadores do SISH-Cana , nas seguintes posições conforme a figura 16.

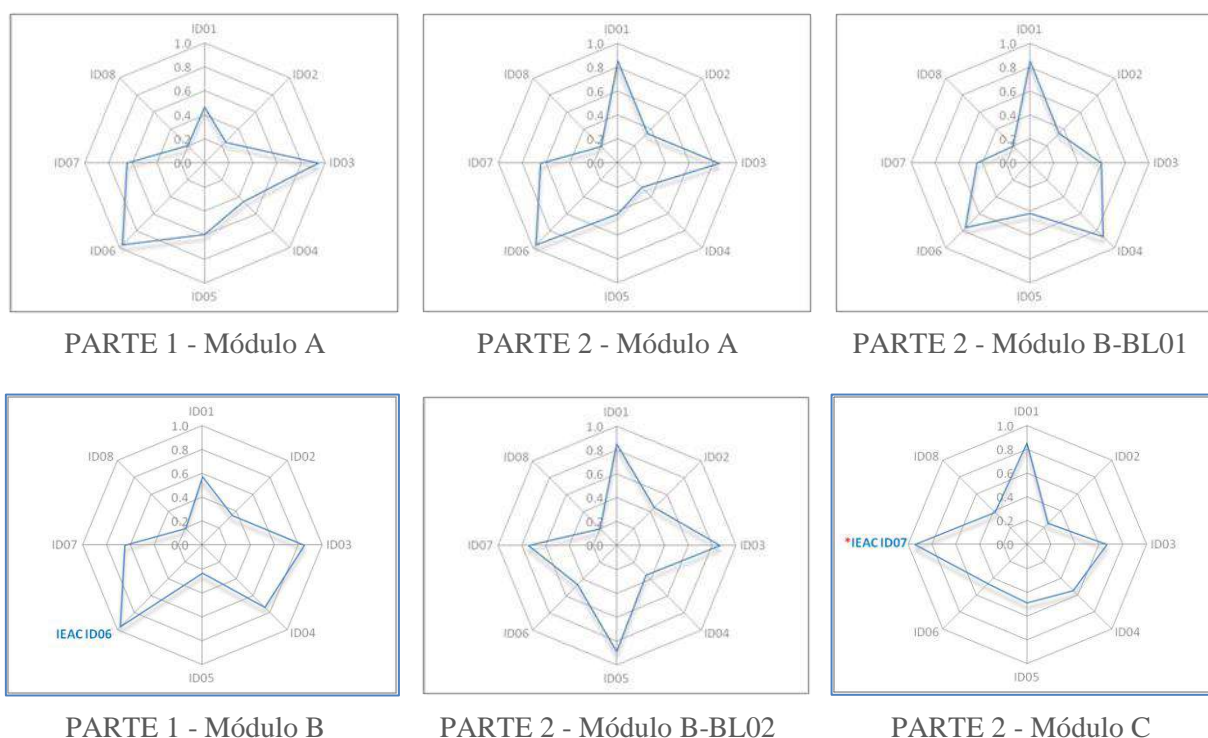


Figura 16 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento do indicador do grupo 9: IEAC.

Nota: (i) PARTE 1-Nível Estratégico; (ii) PARTE 2-Nível Tático; (iii) Módulo 1A: Indicadores de potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canavieira nas UTAs; (iv) Módulo 1B: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; (v) Módulo 2A: Indicadores do potencial da bacia para o desenvolvimento da atividade canavieira; (vi) Módulo 2B-BL01: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de irrigação compulsória; (vii) Módulo 2B-BL02: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canavieira em sistema de sequeiro; (viii) Módulo 2C: Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira. *Obs: O IEAC se aplica alternativamente no Módulo 2C.

7.1.9 Categoria 10. Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.

Este grupo apresenta dois indicadores que foram formulados por consequência da definição dos indicadores IADH e IALE uma vez que estes indicadores determinam em suas formulações valores críticos de áreas para a expansão canavieira. O primeiro estabelece a *área máxima de expansão sustentada* com base na disponibilidade hídrica e demanda projetada, o segundo, a *área limite de expansão sustentável* que corresponde à área limite para a expansão da cultura sem risco eminente de alteração do regime de escoamento e geração de vazões. Portanto, uma vez tendo estabelecido essas áreas críticas considera-se um

procedimento lógico e propositado realizar o monitoramento da expansão canavieira tendo como limite crítico as áreas citadas. E foi para isto que os indicadores foram propostos.

7.1.9.1 Índices de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira (IESC)

7.1.9.1.1 Justificativa do indicador IESC

Uma vez, tendo sido estabelecido um limite para a expansão sustentada da cultura canavieira, considerando o grau de atendimento da demanda de água para a produção canavieira com base na disponibilidade hídrica da UTA, uma proposição lógica decorrente, seria o acompanhamento da expansão da área ocupada pela cultura canavieira, contraposto, à área máxima de expansão sustentada que estabelece o limite da sustentabilidade hídrica para produção canavieira. O conceito do indicador se aplica tanto para o sistema de produção canavieira conduzido com irrigação compulsória, quanto para o sistema de sequeiro. Pois, diz respeito ao estabelecimento de uma a área máxima capaz de ser cultivada com a cultura canavieira com base nas demandas projetadas para cada tipo de sistema de produção.

Assim, um indicador que possa monitorar o processo de expansão em curso da cultura canavieira, e, indicar, em um dado momento de interesse, o quão próximo a área de ocupação momentânea da cultura está da área máxima de expansão sustentada, seria de grande valia para o monitoramento da atividade canavieira e gestão dos recursos hídricos disponíveis na UTA de interesse. O indicador que atende a este propósito é o *Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira*.

7.1.9.1.2 Objetivo dos indicadores IESC

O objetivo do indicador, Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira é fornecer para o analista do nível tático-estratégico a indicação do quanto a área ocupada com a cultura canavieira está próxima do limite máximo de expansão com base na sustentabilidade hídrica. De outra forma, o indicador IESC serve para monitorar a expansão canavieira tendo

como base um limiar de insustentabilidade hídrica que constitui o ponto crítico para a gestão dos recursos hídricos de cada UTA em consideração.

Os indicadores IESC, assim, objetivam responder as *questões-chave*:

- *Quanto à área ocupada pela cultura canavieira se encontra próxima da área máxima de expansão sustentada, considerando a quantidade de água disponível?*
- *Quanto à cultura canavieira ainda poderá expandir na UTA até atingir o limiar de insustentabilidade hídrica?*

7.1.9.1.3 Descrição conceitual dos indicadores IESC

O indicador IESC estabelece a relação da área de ocupação da cultura canavieira num dado momento com a área máxima de expansão sustentada (limite) estabelecida pelo grau de atendimento da demanda de água para a produção canavieira, em sistema de sequeiro ou de irrigação, com base na disponibilidade hídrica da UTA considerada.

7.1.9.1.4 Descrição formal dos indicadores IESC

O indicador, Índice de Expansão Sustentada, é determinado calculando-se a razão entre a área ocupada pela cultura da canavieira sobre a área máxima de expansão sustentada, dado pela seguinte expressão:

$$IESC = S_{OC} / S_{MES} \quad (89)$$

Ou na forma de percentagem,

$$IESC = (S_{OC} / S_{MES}) 100 \quad (90)$$

Onde,

IESC = Índice de Aproximação da Área Máxima de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira (adimensional);

S_{OC} = Área de Ocupação da Cultura Canavieira (ha);

S_{MES} = Área Máxima de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira (ha).

7.1.9.1.5 Determinação dos indicadores IESC

Para se determinar o indicador IESC os seguintes passos são necessários: (i) Determinação da área de ocupação da cultura canavieira (S_{OC}); (ii) Determinação da área máxima de expansão sustentada (S_{MES}); (iii) Determinação do indicador IESC.

❖ **1º Passo - Determinação da área de ocupação da cultura canavieira (S_{OC}):**

Para se determinar a área de ocupação da cultura canavieira (S_{OC}) seguir os procedimentos descritos no item: Determinação do indicador IOCC - 2º passo (pg 202).

❖ **2º Passo - Determinação da área máxima de expansão sustentada (S_{MES}):**

Calcula-se a *área máxima de expansão sustentada* que varia em função da demanda e da disponibilidade hídricas. Deste modo, observa-se que, conforme a orientação do indicador, para o sistema de sequeiro ou irrigação com base na disponibilidade hídrica geral (Nível Estratégico), alocável e/ou explotável (Nível Tático) os dados de entrada para os procedimentos de calculo variam. Segue de forma geral a seguinte expressão:

$$S_{MES} = DEHh / DEHh \quad (91)$$

Onde,

S_{MES} = Área Máxima de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira (ha)

DEHh = Demanda hídrica por ha ($m^3 \cdot ha^{-1}$)

DEHh = Disponibilidade Hídrica (m^3)

❖ **3º Passo - Determinação do indicador IESC:**

Tendo sido conhecidas as áreas: (i) área de ocupação da cultura canavieira (S_{OC}); (ii) área máxima de expansão sustentada (S_{MES}) - calcula-se o indicador conforme a expressão (89).

7.1.9.1.6 Interpretação do indicador IESC

Os *Índices de Expansão Sustentada* constitui um grupo de indicadores que traduzem a idéia de “pressão”, relacionado à situação de expansão de uma atividade agroeconômica demandadora de recursos hídricos e os limites da disponibilidade hídrica para atender a esta demanda crescente. O IESC indica, ainda, o quanto a área já estabelecida com a cultura da

cana-de-açúcar pode se expandir de forma sustentável em relação aos recursos hídricos disponíveis. Neste sentido, se constitui em um indicador da potencialidade de crescimento sustentável. Como uma razão entre áreas, o indicador IESC é adimensional, e pode ser apresentado como percentagem (90) ou normalizado, variando no intervalo: $0 \leq \text{IESC} \leq \infty$.

A interpretação do indicador IESC é baseada nos seguintes critérios:

- $\text{IESC} = 0,0$ (0% S_{MES}). Essa condição ocorre quando: $S_{\text{OC}} = 0,0$. Significa ausência da cultura da canaveira na UTA observada. Significa que a UTA possui pleno potencial para a cultura canaveira se expandir de forma sustentável até a área máxima de expansão sustentável (S_{MES});
- $0 < \text{IESC} < 1$ ($x\%$ S_{MES}). Essa condição ocorre quando: $S_{\text{OC}} < S_{\text{MES}}$. Significa que a cultura da canaveira tem ainda possibilidade de se expandir até a área determinada pela área máxima de expansão sustentável (S_{MES}), cuja grandeza do valor do IESC indica a proporção da desta que já esta sendo ocupada com o cultivo da cultura canaveira. O complemento do valor do IESC em relação à unidade revela a proporção da área que a cultura canaveira pode ainda se expandir de forma sustentável;
- $\text{IESC} = 1,0$ (100% S_{MES}). Essa condição ocorre quando: $S_{\text{OC}} = S_{\text{MES}}$. Significa que a cultura da cana-de-açúcar já atingiu a área máxima de expansão sustentada (S_{MES}) e, portanto, em teoria não tem mais área para se expandir de modo sustentável, segundo o critério estabelecido. Constitui um valor crítico, limite da sustentabilidade hídrica, pois, a área da cultura canaveira já atingiu a área máxima de expansão com base no limite da disponibilidade hídrica para atender a demanda potencial da atividade canaveira;
- $\text{IESC} > 1$ ($x\%$ S_{MES}). Essa condição ocorre quando: $S_{\text{OC}} > S_{\text{MES}}$. Significa que a área da cultura da cana-de-açúcar já ultrapassou a área máxima de expansão sustentada (S_{MES}), cuja grandeza do valor do indicador revela a proporção da área excedida em relação à área máxima de expansão (S_{MES}). Constituem valores críticos que indicam uma situação de insustentabilidade efetiva, impacto sobre os recursos hídricos e a impossibilidade de expansão da atividade canaveira na UTA considerada;
- 1º Critério adotado: Para efeito do SISHM-Cana, no caso de $\text{IESC} > 1$ o indicador assume o valor igual a unidade: $\text{IESC} = 1$. Pois, considera-se que valor do $\text{IESC} = 1,0$ já revela a condição de insustentabilidade hídrica.

7.1.9.1.7 Considerações sobre o indicador IESC

Nota-se que, como uma das premissas do Sistema SISH-Cana é ponderar, de forma discriminada, a situação da cultura canavieira conforme o sistema de produção (favorabilidade para o sistema de sequeiro ou sistema de irrigação compulsória) o indicador IESC também é aplicado, no nível estratégico e tático, para cada situação independentemente. Cabe ressaltar ainda que, no nível tático, a disponibilidade hídrica é calculada conforme cada compartimento hídrico distinto (Disponibilidade: alocável, regularizável, explotável), logo o indicador IESC, neste caso, deve fazer referência ao parâmetro utilizado. Para fins práticos, recomenda-se que se utilize o parâmetro de maior disponibilidade hídrica.

O indicador na forma em que foi proposto varia no intervalo [0 ; 1[visto que a área ocupada pela cultura pode na prática ultrapassar a área máxima de expansão sustentada determinada que é um limite teórico que estabelece a condição do limite de sustentabilidade hídrica com base na demanda da atividade canavieira. Assim, a ordem de grandeza dos valores maiores do que 1,0 revelam proporção de sobre-exploração dos recursos hídricos com base nos critérios adotados. Contudo, ainda que possa ser interessante a indicação do grau de sobre-exploração ao qual os recursos hídricos estão submetidos, para efeito do SISH-Cana considera-se que valores do IESC $\geq 1,0$ revelam efetivamente a condição de insustentabilidade hídrica. De qualquer forma o indicador como foi proposto constitui um indicador de pressão relevante para avaliar ou monitorar o limiar de sustentabilidade hídrica com base no conceito da área máxima de expansão sustentada.

7.1.9.1.8 Conclusões sobre o indicador IESC

O indicador, Índice de Expansão Sustentada da cultura Canavieira, responde as questões-chave: *Quanto à área ocupada pela cultura canavieira se encontra próxima da área máxima de expansão sustentada, considerando a quantidade de água disponível? - Quanto à cultura canavieira ainda poderá expandir na UTA até atingir o limiar de insustentabilidade hídrica?*

Assim, o IESC constitui um indicador de “pressão” de relevante importância para o monitoramento do processo de expansão da atividade canavieira e gestão dos recursos hídricos de uma dada UTA de interesse.

7.1.9.2 Índices de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira (IESU)

7.1.9.2.1 Justificativa do indicador IESU

Uma vez, tendo sido estabelecido um limite para a expansão sustentável da cultura canavieira, considerando o limiar de desestabilidade do regime hidrológico e o comprometimento da produção de água na bacia hidrográfica, uma proposição lógica decorrente, seria o acompanhamento da expansão da área ocupada pela cultura canavieira, contraposto, à área limite de expansão sustentável. Foi visto que área limite de expansão sustentável pode ser definida como a área máxima de expansão da cultura canavieira sem a geração de impacto suficientemente forte ao ponto de alterar as condições de estacionariedade da produção de água na bacia. O conceito basilar do indicador é bastante simples, posto que se trata mais uma vez de uma relação entre áreas. A relação entre a área momentânea de ocupação da cultura canavieira e a área definida como limite de expansão sustentável. Entretanto, como visto anteriormente na proposição do indicador IALE a determinação da área limite de expansão não é tarefa simples para ser realizada com suficiente rigor científico, exigindo provavelmente uma modelagem mais complexa que possa embasar esta proposição. Contudo, considerando a hipótese de se ter estabelecido um método confiável para a determinação da área limite de expansão sustentável, com aproximação satisfatória, o indicador IESU teria a sua proposição justificada, pois, consistiria em um indicador de grande valia para o monitoramento da expansão da cultura canavieira e a gestão da bacia no tocante a imposição de um limite máximo para a expansão da cultura, com vistas à conservação e a garantia dos recursos hídricos para o desenvolvimento socioeconômico da bacia hidrográfica e a própria sustentabilidade hídrica da atividade canavieira nela inserida.

Assim, um indicador que possa monitorar o processo de expansão em curso da cultura canavieira, e, indicar, em um dado momento de interesse, o quão próximo a área de ocupação momentânea da cultura está da área limite de expansão sustentável, seria de grande valia para

o monitoramento da atividade canavieira e gestão dos recursos hídricos disponíveis na bacia de interesse. O indicador que se propõe é o *Índice de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira*.

7.1.9.2.2 Objetivo do indicador IESU

O objetivo do indicador, Índice de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira é fornecer para o analista do nível tático a indicação do quanto a área ocupada com a cultura canavieira está próxima do limite máximo de expansão com base na sustentabilidade do regime de produção hídrica. De outra forma, o indicador IESU serve para monitorar a expansão canavieira tendo como base um limiar de insustentabilidade hidrológica que constitui o ponto crucial para a gestão dos recursos hídricos nas bacias em gestão.

O indicador IESU, assim, objetiva responder as questões-chave:

- *Quanto a área ocupada pela cultura canavieira se encontra próxima da área limite de expansão sustentável, considerando a conservação das condições de produção de água na bacia?*
- *Quanto a cultura canavieira ainda poderá expandir na bacia antes de atingir o limiar de insustentabilidade hidrológica?*

7.1.9.2.3 Descrição conceitual do indicador IESU

O indicador IESU estabelece a relação da área de ocupação da cultura canavieira num dado momento com a área limite de expansão sustentável estabelecida com base no conceito da alteração das condições hidrológicas da bacia hidrográfica em função de mudança extensiva do uso e cobertura do solo.

7.1.9.2.4 Descrição formal do indicador IESU

O indicador, Índice de Expansão Sustentável, é determinado calculando-se a razão entre a área ocupada pela cultura da canaveira sobre a área limite de expansão sustentável, dado pela seguinte expressão:

$$IESU = S_{OC} / S_{LES} \quad (92)$$

Ou na forma de percentagem,

$$IESU = (S_{OC} / S_{LES})100 \quad (93)$$

Onde,

IESU = Índice de Expansão Sustentável da Cultura Canaveira (adimensional);

S_{OC} = Área de Ocupação da Cultura Canaveira (ha);

S_{LES} = Área Limite de Expansão Sustentável da Cultura Canaveira (ha).

7.1.9.2.5 Determinação dos indicadores IESU

Para se determinar o indicador IESU os seguintes passos são necessários: (i) Determinação da área de ocupação da cultura canaveira (*S_{OC}*); (ii) Determinação da área limite de expansão sustentável (*S_{MES}*); (iii) Determinação do indicador IESU.

❖ **1º Passo - Determinação da área de ocupação da cultura canaveira (*S_{OC}*):**

Para se determinar a área de ocupação da cultura canaveira (*S_{OC}*) seguir os procedimentos descritos Determinação do indicador IOCC - 2º passo (pg 202).

❖ **2º Passo: Determinação da área limite de expansão sustentável (*S_{LES}*):**

Para se determinar área limite de expansão sustentável (*S_{LES}*) deve-se desenvolver/adaptar e aplicar um modelo que estabeleça a área máxima para a expansão da cultura canaveira sem alterar significativamente o balanço hídrico fluvialógico.

❖ **3º Passo: Determinação do indicador IESU:**

Tendo sido conhecidas as áreas: (i) área de ocupação da cultura canaveira (*S_{OC}*); (ii) área máxima de expansão sustentável (*S_{LES}*) - calcula-se o indicador conforme a expressão (91).

7.1.9.2.6 Interpretação do indicador IESU

O *Índice de Expansão Sustentável* constitui um indicador que traduzem a ideia de “pressão”, relacionada à situação de expansão de uma atividade agroeconômica indutora de extensiva mudança de uso e cobertura do solo e de alteração condições hidrológicas de produção de água na bacia hidrográfica. O IESU indica, ainda, o quanto a área já estabelecida com a cultura da cana-de-açúcar pode se expandir de forma sustentável em relação às condições de produção e estabilidade dos recursos hídricos. Neste sentido, o IESU se constitui em um indicador da potencialidade de crescimento sustentável. Como uma razão entre áreas, o indicador IESU é adimensional, e pode ser apresentado como percentagem (92) ou normalizado, variando no intervalo: $0 \leq \text{IESU} \leq 1$.

A interpretação do indicador IESU é baseada nos seguintes critérios:

- $\text{IESU} = 0,0$ (0% S_{LES}). Essa condição ocorre quando: $S_{OC} = 0,0$. Significa ausência da cultura da canavieira na UTA observada. Significa que a UTA possui pleno potencial para a cultura canavieira se expandir de forma sustentável até a área limite de expansão sustentável (S_{MES});
- $0 < \text{IESU} < 1$ ($x\%$ S_{LES}). Essa condição ocorre quando: $S_{OC} < S_{LES}$. Significa que a cultura da canavieira tem ainda possibilidade de se expandir até a área determinada pela área limite de expansão sustentável (S_{LES}), cuja grandeza do valor do IESU indica a proporção desta que já está sendo ocupada com o cultivo da cultura canavieira. O complemento do valor do IESU em relação à unidade revela a proporção da área que a cultura canavieira pode ainda se expandir de forma sustentável;
- $\text{IESU} = 1,0$ (100% S_{LES}). Essa condição ocorre quando: $S_{OC} < S_{LES}$. Significa que a cultura da cana-de-açúcar já atingiu a área limite de expansão sustentável (S_{LES}) e, portanto, em teoria não tem mais área para se expandir de modo sustentável, segundo o critério estabelecido. Constitui um valor crítico, limite da sustentabilidade da bacia hidrográfica, pois, a área da cultura canavieira já atingiu a área limite de expansão com base na premissa de alteração das condições de produção de água na bacia;

7.1.9.2.7 Considerações sobre o indicador IESU

Considerando o exposto sobre a complexidade para se determinar com suficiente rigor científico a *área limite de expansão sustentável* em diferentes bacias hidrográficas a aplicação

do indicador IESU fica na dependência do desenvolvimento metodológico para se estimar este dado.

7.1.9.2.8 Conclusões sobre o indicador IESU

O indicador, Índice de Expansão Sustentável da cultura Canavieira, responde as questões-chave: Quanto a área ocupada pela cultura canavieira se encontra próxima da área limite de expansão sustentável, considerando a conservação das condições de produção de água na bacia?- Quanto a cultura canavieira ainda poderá expandir na bacia antes de atingir o limiar de insustentabilidade hidrológica?

Assim, o IESU constitui um indicador de “pressão” de relevante importância para o monitoramento do processo de expansão da atividade canavieira e gestão de uma bacia hidrográfica.

7.1.9.3 Aplicação dos Indicadores do Grupo 10 no SISH-Cana

De forma sumarizada, o Quadro 19 apresenta os indicadores do grupo 10 com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 19 - Grupo 10: Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira

INDICADORES	FÓRMULAS
IESC _S - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira - SS	$IESC_S = S_{OC} / S_{MES}$
IESC _I - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira - SI	$IESC_I = S_{OC} / S_{MES}$
IESU - Índice de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira	$IESU = S_{OC} / S_{LES}$

Nota: (i) S_{OC} = Área de ocupação da cultura canavieira; (ii) S_{MES} = Área máxima de expansão sustentada da cultura canavieira (SS - Sistema de Sequeiro; SI - Sistema de Irrigação) (iii) S_{LES} = Área limite de expansão sustentável da cultura canavieira

Os indicadores do grupo 10: IESU, IESC_S e IESC_I . se aplicam nos módulos de monitoramento do processo de expansão da cultura canavieira. O índice IESU se aplica somente na Parte 2 do SISH-Cana , orientado ao nível tático do planejamento setorial.

Enquanto, os índices $IESC_S$ e $IESC_I$ compõem as Partes 1 e 2 do Sistema, atendendo tanto ao nível tático quanto o estratégico do planejamento e gestão. Os índices do grupo 10 integram os indicadores do SISH-Cana, nas seguintes posições (figura 17):

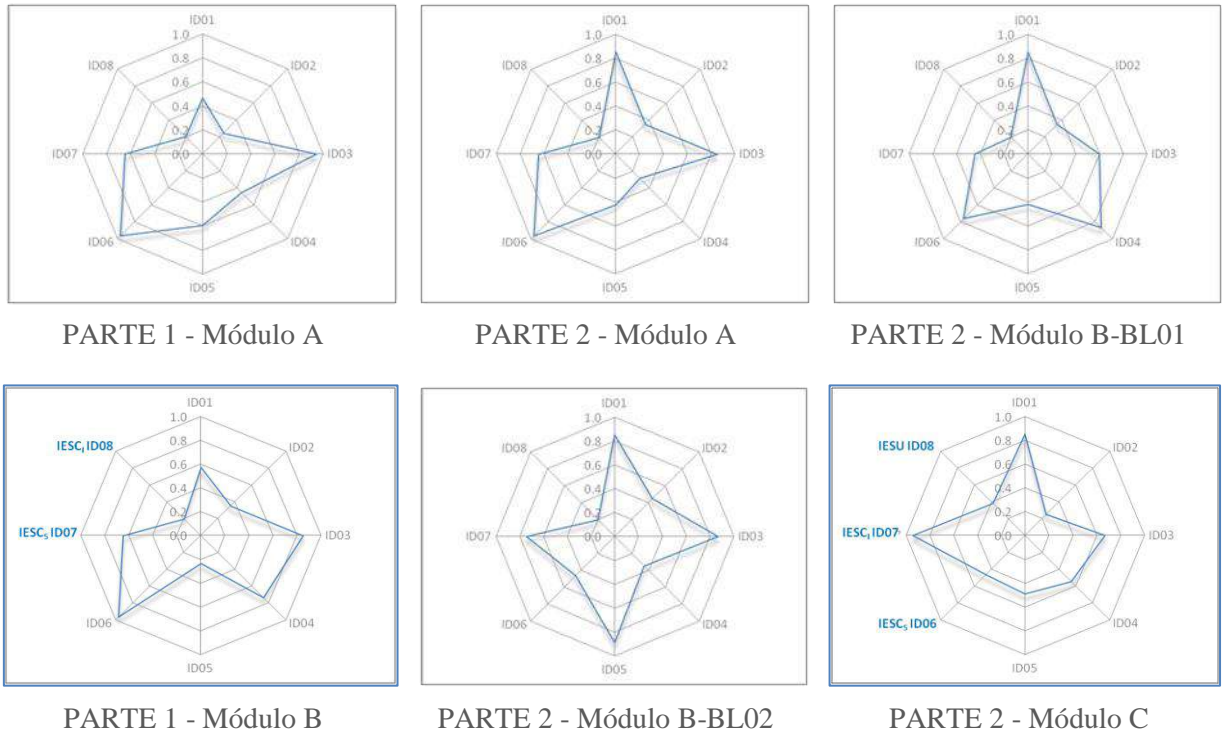


Figura 17 - Esquema geral do SISH-Cana e o posicionamento dos indicadores do grupo 10: $IESU$; $IESC_S$ e $IESC_I$

Nota: (i) PARTE 1-Nível Estratégico; (ii) PARTE 2-Nível Tático; (iii) Módulo 1A: Indicadores de potencial de sustentabilidade hídrica e desenvolvimento da atividade canvieira nas UTAs; (iv) Módulo 1B: Indicadores do processo de expansão da cultura canvieira; (v) Módulo 2A: Indicadores do potencial da bacia para o desenvolvimento da atividade canvieira; (vi) Módulo 2B-BL01: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canvieira em sistema de irrigação compulsória; (vii) Módulo 2B-BL02: Indicadores de sustentabilidade hídrica atividade canvieira em sistema de sequeiro; (viii) Módulo 2C: Indicadores do processo de expansão da cultura canvieira.

8 APLICAÇÃO DO SISH-CANA NO NÍVEL DE GESTÃO ESTRATÉGICA: ESTUDO DE CASO DOS FOCOS DE EXPANSÃO DA CULTURA CANAVEIRA NA MESORREGIÃO SUL DO ESTADO DE GOIÁS

8.1 Introdução

O presente capítulo apresenta o desenvolvimento e os resultados do estudo de caso dos Focos de Expansão da Cultura Canavieira na Mesorregião Sul do Estado de Goiás, realizado com o propósito de demonstrar a aplicabilidade do Sistema de Indicadores - SISH-CANA como uma ferramenta de análise em auxílio à tomada de decisão no nível de gestão estratégica.

8.2 Delineamento do estudo de caso

8.2.1 Objetivo do estudo de caso

Com o propósito de demonstrar a aplicabilidade da Parte 1 do Sistema de Indicadores SISH-Cana, orientada ao nível de gestão estratégica, foi conduzido um estudo de caso cujo objetivo consistiu em realizar uma avaliação comparativa das quatro microrregiões geográficas que constituem, atualmente, os principais focos (*hotspots*) da expansão da cultura da cana-de-açúcar na Mesorregião Sul Goiano, no Estado de Goiás.

8.2.2 Delimitação da área de estudo de caso

Divisão Regional do Brasil em *Regiões, Mesorregiões e Microrregiões Geográficas* foi estabelecida pelo IBGE (Resolução da Presidência do IBGE nº. 11, de 5 de junho de 1990) com a intenção de fornecer um recorte geográfico suplementar às unidades político-administrativas, constituindo a base geográfica para a integração de dados estatísticos e divulgação de informações censitárias. Desta forma, as unidades territoriais definidas como

Mesorregiões e Microrregiões Geográficas constituem um referencial geográfico adequado para subsidiar a ação política ou uma base territorial para elaboração de planos e programas para o desenvolvimento regional. Por outro lado, as *Unidades da Federação* e os *Municípios* constituem unidades territoriais legalmente investidas para a tomada de decisão político-administrativa. Desta maneira, para a delimitação da área do presente estudo de caso foram consideradas tanto a Divisão Regional quanto a Divisão Político-Administrativa do Brasil, oficialmente, adotadas pelo IBGE.

A delimitação da área para realização do estudo de caso ora proposto foi estabelecida em função da ocorrência do fenômeno de interesse e com base na divisão de *Unidades Territoriais* do IBGE. Assim, como recorte geográfico mais abrangente foi escolhido a Mesorregião Sul Goiano (figura 19), onde, em alguns municípios, a cultura canavieira já havia se instalado e, na última década, tem sido observada a ocorrência de novos focos de expansão da cultura canavieira conforme comprovam os dados do Projeto CANASAT/INPE, apresentado no mapa na figura 18.

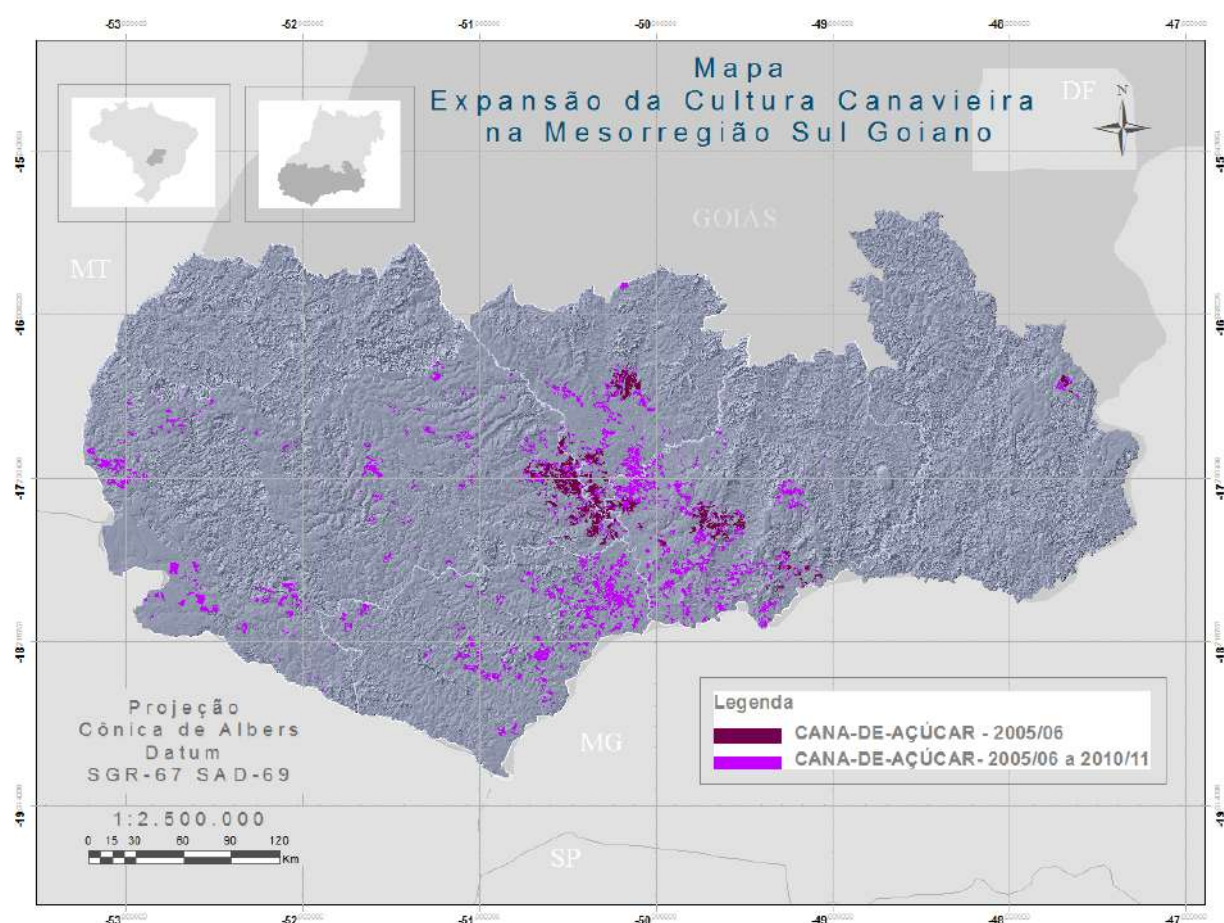


Figura 18 - Mapa com as áreas de ocupação em 2005/06 e expansão da cultura canavieira ocorrida no período de 2005/2006 a 2010/2011 na Mesorregião Sul Goiano - GO. Fonte: CANASAT/INPE

Descrevendo a dinâmica e analisando os impactos dos processos de mudança de uso da terra por causa do avanço da atividade canavieira na Mesorregião Sul Goiano - GO, diversos trabalhos destacam que as principais áreas de expansão da cultura da cana-de-açúcar se concentram nas microrregiões situadas na porção centro-oeste da referida mesorregião. Desta forma, a delimitação exata da área de estudo compreende quatro das seis microrregiões circunscritas na Mesorregião Sul Goiano, a saber: *Meia Ponte*, *Quirinópolis*, *Vale dos Rios dos Bois* e *Sudoeste Goiano*. Para efeito de *Unidades Territoriais de Análise* (UTA) foram consideradas duas categorias: as *microrregiões* e seus *municípios*.

A Tabela 1 apresenta informações referentes à abrangência geográfica e à delimitação da área do Estudo de Caso dos Focos de Expansão da Cultura Canavieira na Mesorregião Sul do Estado de Goiás.

Tabela 1 - Informações geográficas da área do Estudo de Caso dos Focos de Expansão da Cultura Canavieira na Mesorregião Sul do Estado de Goiás

MICRORREGIÃO	CÓDIGO IBGE	ÁREA (KM ²)	Nº DE MUNICÍPIOS
Meia Ponte	15215 GO	21.165,56	21
Quirinópolis	15218 GO	16.068,10	09
Vale do Rios dos Bois	15214 GO	13.608,60	13
Sudoeste Goiano	15213 GO	56.111,53	18

REGIÃO GEOGRÁFICA: Centro-Oeste

UNIDADE DA FEDERAÇÃO: Estado de Goiás - GO

MESORREGIÃO GEOGRÁFICA: Sul Goiano - Código IBGE 15205 GO

A figura 19 apresenta um mapa com a localização geográfica da Mesorregião Sul Goiano com as referidas microrregiões e seus municípios.

A listagem com o nome dos municípios por microrregião, código do IBGE e extensão em área, são apresentadas nas tabelas 2, 3, 4 e 5.

Tabela 2 - Municípios da Microrregião: Sudoeste de Goiás - Mesorregião Sul Goiano

MUNICÍPIOS	CÓDIGO IBGE	ÁREA	
		km ²	ha
(01) Aparecida do Rio Doce	5201454	602,29	60.228,80
(02) Aporé	5201504	2.900,34	290.034,40
(03) Caiapônia	5204409	8.653,19	865.318,90
(04) Castelândia	5205059	297,43	29.742,80
(05) Chapadão do Céu	5205471	2.354,82	235.482,20
(06) Doverlândia	5207253	3.207,54	320.754,30
(07) Jataí	5211909	7.174,22	717.421,70
(08) Maurilândia	5213004	393,79	39.379,30
(09) Mineiros	5213103	8.896,30	889.630,40
(10) Montividiu	5213756	1.874,61	187.461,10
(11) Palestina de Goiás	5215652	1.320,68	132.068,30
(12) Perolândia	5216452	1.029,62	102.962,20
(13) Portelândia	5218102	550,65	55.064,60
(14) Rio Verde	5218805	8.388,30	838.829,50
(15) Santa Helena de Goiás	5219308	1.127,86	112.785,50
(16) Santa Rita do Araguaia	5219407	1.361,76	136.176,40
(17) Santo Antônio da Barra	5219712	451,60	45.159,60
(18) Serranópolis	5220504	5.526,53	552.652,60
TOTAL:	18 Municípios	56.111,53	5.611.153,00

Tabela 3 - Municípios da Microrregião: Vale do Rio dos Bois - Mesorregião Sul Goiano (continua)

MUNICÍPIOS	CÓDIGO IBGE	ÁREA	
		km ²	ha
(01) Acreúna	5200134	1.565,99	156.598,90
(02) Campestre de Goiás	5204607	273,82	27.381,60
(03) Cezarina	5205455	415,81	41.580,90
(04) Edealina	5207352	603,65	60.365,20
(05) Edéia	5207402	1.461,52	146.151,90

Tabela 3 - Municípios da Microrregião: Vale do Rio dos Bois - Mesorregião Sul Goiano (continuação)

MUNICÍPIOS	CÓDIGO IBGE	ÁREA	
		km ²	ha
(06) Indiara	5209952	956,47	95.647,30
(07) Jandaia	5211701	864,10	86.410,40
(08) Palmeiras de Goiás	5215702	1.539,68	153.968,30
(09) Palminópolis	5215900	387,69	38.769,30
(10) Paraúna	5216403	3.781,22	378.121,90
(11) São João da Paraúna	5220058	305,36	30.535,70
(12) Turvelândia	5221551	934,26	93.426,00
(13) Varjão	5221908	519,03	51.902,90
TOTAL:	13 Municípios	13.608,60	1.360.860,00

Tabela 4 - Municípios da Microrregião: Quirinópolis - Mesorregião Sul Goiano

MUNICÍPIOS	CÓDIGO IBGE	ÁREA	
		km ²	ha
(01) Cachoeira Alta	5204102	1.654,34	165.434,30
(02) Caçu	5204300	2.251,10	225.109,80
(03) Gouvelândia	5209150	830,77	83.077,00
(04) Itajá	5210802	2.091,39	209.139,40
(05) Itarumã	5211305	3.433,62	343.361,90
(06) Lagoa Santa	5212253	458,87	45.886,50
(07) Paranaiguara	5216304	1.153,79	115.378,60
(08) Quirinópolis	5218508	3.780,17	378.017,30
(09) São Simão	5220405	414,06	41.405,50
TOTAL:	9 Municípios	16.068,10	1.606.810,00

Tabela 5 - Municípios da Microrregião: Meia Ponte - Mesorregião Sul Goiano

MUNICÍPIOS	CÓDIGO IBGE	ÁREA	
		km ²	ha
(01) Água Limpa	5200209	452,86	45.285,60
(02) Aloândia	5200506	102,16	10.216,00
(03) Bom Jesus de Goiás	5203500	1.405,22	140.521,80
(04) Buriti Alegre	5203906	897,39	89.739,40
(05) Cachoeira Dourada	5204250	521,13	52.113,00
(06) Caldas Novas	5204508	1.589,52	158.951,80
(07) Cromínia	5206503	369,92	36.991,70
(08) Goiatuba	5209101	2.475,11	247.510,70
(09) Inaciolândia	5209937	688,40	68.839,80
(10) Itumbiara	5211503	2.461,28	246.128,00
(11) Joviânia	5212105	454,88	45.488,40
(12) Mairipotaba	5212600	460,98	46.097,50
(13) Marzagão	5212907	228,09	22.809,10
(14) Morrinhos	5213806	2.846,19	284.619,10
(15) Panamá	5216007	433,76	43.375,90
(16) Piracanjuba	5217104	2.405,11	240.511,40
(17) Pontalina	5217708	1.428,19	142.819,40
(18) Porteirão	5218052	603,92	60.391,70
(19) Professor Jamil	5218391	347,46	34.746,40
(20) Rio Quente	5218789	256,74	25.673,90
(21) Vicentinópolis	5222054	737,25	73.725,10
TOTAL:	21 Municípios	21.165,56	2.116.556,00

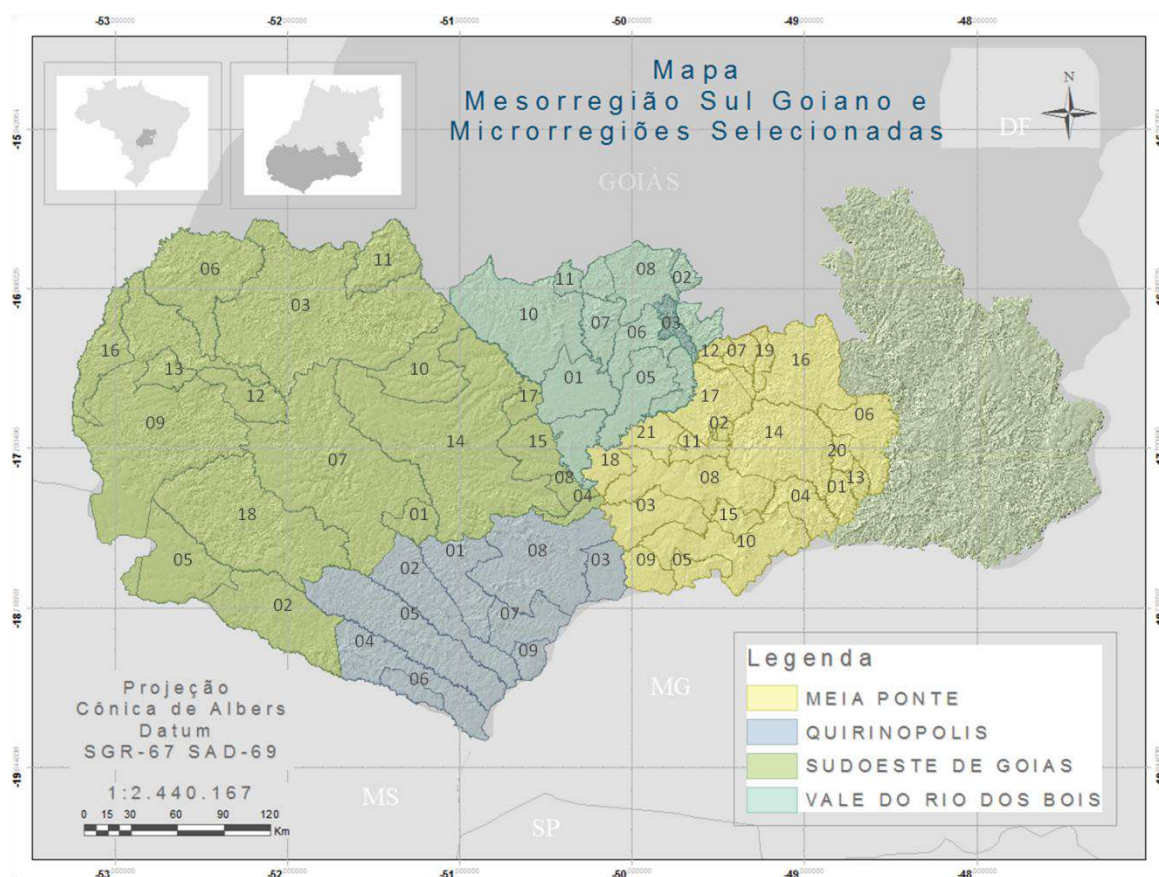


Figura 19 - Mapa com a localização geográfica da: Mesorregião Sul Goiano, no Estado de Goiás com as microrregiões: Sudoeste Goiano, Vale dos Rios dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte e municípios. Fonte: IBGE/SIEG

Nota: Municípios numerados conforme as tabelas 2, 3, 4 e 5.

8.3 Estruturação do estudo de caso

O Estudo de Caso dos Focos de Expansão da Cultura Canavieira na Mesorregião Sul do Estado de Goiás consistiu na realização de uma análise comparativa entre as microrregiões explicitadas e entre os seus municípios, considerados como *Unidades Territoriais de Análise* distintas. Deste modo, para a realização da análise comparativa foram considerados como *Unidades Territoriais de Análise* (UTA), as microrregiões e os municípios. O período de análise adotado compreendeu os anos-safra de 2005/2006 a 2010/2011.

O Estudo de Caso foi subdividido em oito estudos específicos. Adotando-se as microrregiões como *Unidades Territoriais de Análise*, o estudo de caso compõe-se dos seguintes estudos sintético-analíticos:

- **Estudo 1:** Avaliação analítica do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira das microrregiões: *Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte*;
- **Estudo 2:** Síntese descritiva do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira das microrregiões: *Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte*;
- **Estudo 3:** Avaliação analítica do processo de expansão da cultura canavieira ocorrida no período de 2005/2006 a 2010/2011 nas microrregiões: *Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte*;
- **Estudo 4:** Síntese descritiva do processo de expansão da cultura canavieira ocorrida no período de 2005/2006 a 2010/2011 nas microrregiões: *Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte*.

Adotando-se os municípios como Unidades Territoriais de Análises, o *Estudo de Caso* compõe-se dos seguintes estudos sintético-analíticos:

- **Estudo 5:** Avaliação geral do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira dos municípios das microrregiões: *Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte*;
- **Estudo 6:** Avaliação geral do processo de expansão da atividade canavieira ocorrida no período de 2005/2006 a 2010/2011 nos municípios das microrregiões: *Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte*;
- **Estudo 7:** Descrição sintética do potencial de sustentabilidade hídrica e do processo de expansão da atividade canavieira durante o período de 2005/2006 a 2010/2011, de dez municípios contrastantes das microrregiões: *Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte*;
- **Estudo 8:** Exemplos da utilização do SISH-Cana para a realização de consultas, seleção e ranqueamentos entre os municípios das microrregiões: *Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte*.

8.4 Diagnóstico Ambiental da Área de Estudo de Caso

8.4.1 Clima

O Estado de Goiás é caracterizado por um período chuvoso (outubro a abril) e um outro seco (maio a setembro). No período chuvoso ocorrem 95% do total de precipitação pluvial com destaque para os meses de dezembro e janeiro, que mostram valores em torno de 250 a 350 mm para a Mesorregião Sul Goiano. No período mais seco os índices pluviométricos variam de 0,0 a 90mm, sendo julho o mês mais seco com média abaixo de 20mm (SILVA et al., 2006).

A figura 20 apresenta um modelo de distribuição espacial da precipitação média anual realizado por Evangelista (2011).

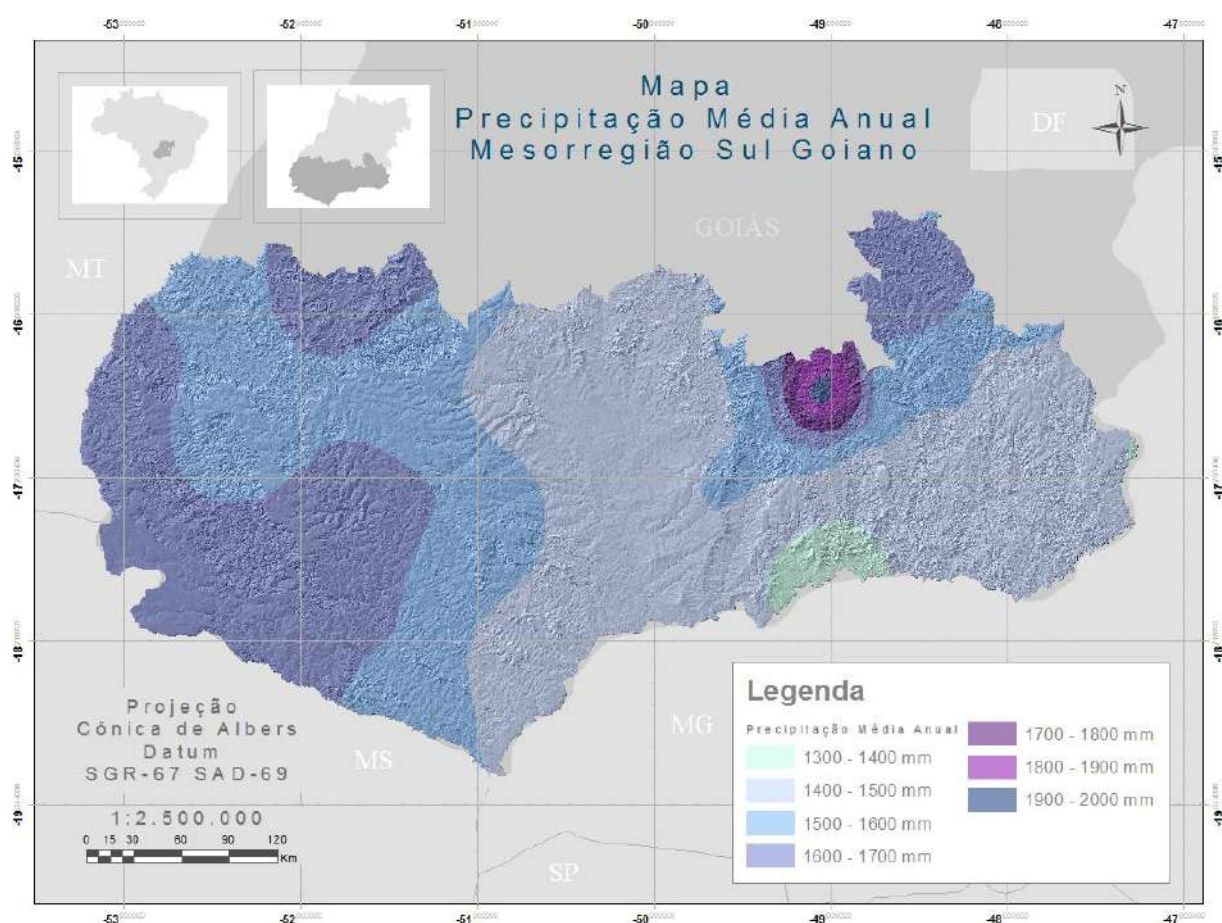


Figura 20 - Modelo espacial da distribuição da precipitação média anual na da Mesorregião Sul Goiano. Fonte Adaptado de Evangelista (2011)

Quanto ao comportamento da temperatura máxima do ar, os meses de agosto e setembro apresentam os maiores índices térmicos, alcançando valores médios em torno de 29 a 32°C para a Mesorregião Sul Goiano. Em relação às temperaturas mínimas do ar os meses de junho e julho são os mais frios, indicando valores médios entre 11 a 13°C em áreas localizadas no sudeste, sul e sudoeste goiano(SILVA et al., 2006).

Os meses de setembro e dezembro constituem os períodos nos quais a evaporação atingem os maiores e menores índices, apresentando para a Mesorregião Sul Goiano valores médios mensais em torno de 180 a 200 mm e 80 a 100mm, respectivamente.

Quanto à umidade relativa do ar na Mesorregião Sul Goiano, o mês de dezembro apresenta-se como o período mais úmido com índices entre 78 a 82 %, e, o mês de agosto como o mais seco com valores em torno de 50 a 54 % de umidade relativa do ar (SILVA et al., 2006).

Quanto às variações dos excedentes e/ou déficits hídricos na região em apreciação os meses de novembro a março registram sempre excedentes hídricos, com destaque para o mês de janeiro, ocasião em que registram-se índices em torno de 120 a 200 mm excedentes. Contrariamente, o período de maio a outubro apresenta déficit hídrico, sendo os meses de agosto e setembro os mais críticos com índices na faixa de -20 a -60mm. A figura 21 apresenta a distribuição espacial dos excedentes e déficits hídricos para o Estado de Goiás dos meses de janeiro e setembro (SILVA et al., 2006).

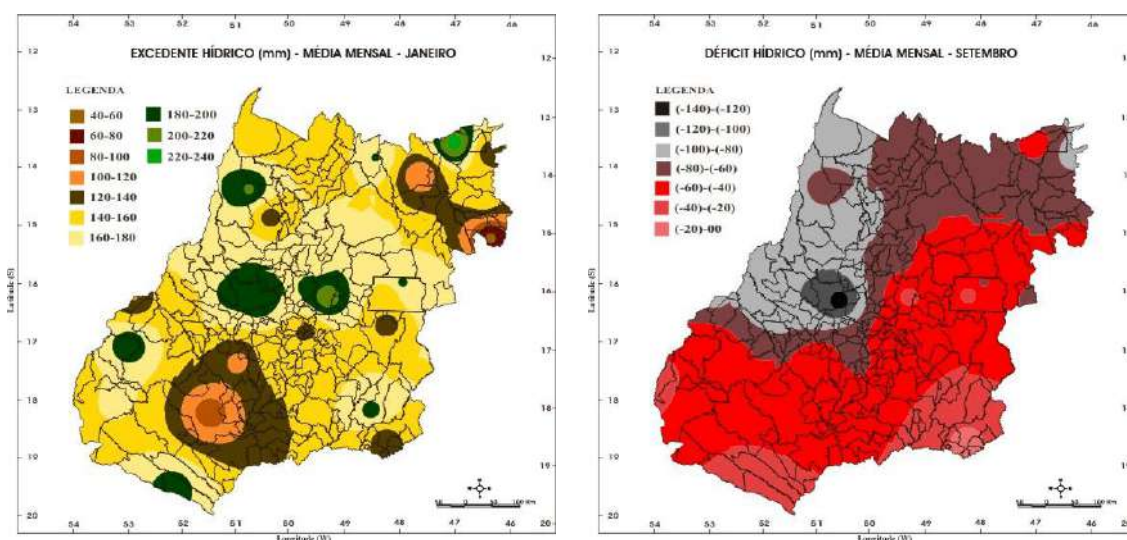


Figura 21 - Excedente e déficit hídricos para o Estado de Goiás (janeiro e setembro).
Fonte: Silva et al. (2006)

Na Mesorregião Sul Goiano, no período chuvoso, a insolação apresenta-se com valores mais baixos devido à existência de um alto nível de nebulosidade, registrando índices na faixa de 150 a 170 horas de insolação. Com a decaimento dos índices de precipitação a insolação vai diminuindo até, praticamente se anular no período seco, ocasião em que registra-se índices de insolação bem elevados, atingindo cerca de 260 a 280 horas, no mês de julho (SILVA et al., 2006).

8.4.2 Geomorfologia

De maneira geral, o relevo da *Mesorregião Sul Goiano* pode ser descrito por uma sucessão de *Superfícies Regionais de Aplainamento* (SRA) escalonadas, que constituem unidades geomorfológicas denudacionais geradas pelo arrasamento/aplainamento da superfície do terreno conforme os níveis de base locais ou regionais, delimitadas por escarpas ou zonas de erosão. Estas áreas são identificadas como *Zonas de Erosão Recuante* (ZER) que fazem a transição entre duas *Superfícies Regionais de Aplainamento*. As ZERs marcam a frente de erosão de superfícies de aplainamento mais antigas que se encontram em cota superior e estão sendo erodidas e dissecadas pela rede de drenagem que evolui por erosão recuante, dando seguimento a formação de outras superfícies de aplainamento mais recentes que atuam como nível de base local (LATRUBESSE et al., 2006).

Em função dos processos poligenéticos e dos espessos mantos de intemperismo dos saprolitos, esses dois tipos de unidades denudacionais não apresentam controles geológicos regionais, litológicos ou estruturais, muito marcantes, formando vastas áreas de relevo aplainado a suave nas SRAs, e, moderadamente ondulado a ondulado nas ZERs, mantendo padrões relativamente uniformes. Conforme a distribuição espacial e o nível altimétrico, essas unidades geomorfológicas podem seccionar e/ou aplainar variadas camadas litoestratigráficas e formações estruturais, erodindo diversas unidades geológicas o que lhes confere certa variabilidade expressa no aparecimento pontual de feições geomorfológicas relicáreas formadas por erosão diferencial ou condicionadas por marcante controle estrutural. Condicionam ainda diferentes padrões de dissecção, características hidrogeológicas e formação de solos. Assim, no relevo da *Mesorregião Sul Goiano* pode-se observar diversas outras geoformas que constituem subunidades geomorfológicas subordinadas como: a formação de *Morros e Colinas* (MC) com ou sem controle estrutural; *Hogbacks* (HB) geradas por processos de dobramentos formando colinas e morros; *Braquianticlinais* (BQ) geradas por dobramentos associados a corpos intrusivos plutônicos; *Formas dômicas* (DM) geradas por blocos falhados; *Pseudo-domos* (PSD) gerados por estruturas tectônicas complexas sobre rochas pré-cambrianas; *Relevos tabulares* (RT) gerados sobre rochas sedimentares horizontais a subhorizontais geralmente relacionados com a formação de alguma Superfície Regional de Aplainamento; Relevos cársticos localizados e restritos a pequenas áreas LATRUBESSE et al., 2006).

Completando a visão geral sobre o relevo da Mesorregião Sul Goiano cabe ainda menção os sistemas agradacionais que constituem unidades geomorfológicas de menor expressão geográfica e ocorrência localizada relacionadas aos processos de sedimentação fluvial e lacustre. As principais unidades classificadas segundo Latrubesse et al. (2006) são os *Sistemas de Agradação Fluvial* (PF) que constituem as planícies de inundação ativas e terraços fluviais formados por condições paleohidrológicas e os *Sistemas Lacustres* (LA) relacionados, na maioria das vezes, aos processos de desmantelamento da laterita devido à dissolução e mobilização subsuperficial de detritos de granulometria fina por causa do comportamento hidrológico diferenciado entre o manto de intemperismo (saprolito) e a rocha não-alterada.

Segundo Latrubesse et al. (2006), três grandes superfícies regionais de aplainamento são encontradas na Mesorregião Sul Goiano formando extensos patamares escalonados com relevo suave-ondulado limitados por zonas de transição que constituem as frentes de erosão recuante com relevo mais movimentado e dissecação mais marcante. A primeira superfície de aplainamento situada em um nível hipsométrico mais basal com cotas entre 400 a 550 m é a *superfície regional de aplainamento* - SRAIVB. Sendo drenada pela bacia hidrográfica do Rio Paranaíba esta unidade geomorfológica corta os basaltos e arenitos da Formação Serra Geral na Bacia do Paraná e, em alguns casos, as rochas do embasamento cristalino. A Formação Serra Geral exhibe os basaltos continentais provenientes dos derrames do período Juro-Cretáceo. Além das lavas afaníticas formadoras dos basaltos, diques de diabásio e/ou gabro também são atribuídos a referida formação. Na região estudada, por constituir borda da bacia sedimentar do Paraná a seção de derrames basálticos raramente supera os 200 metros, encontrando-se ainda quase totalmente erodida, pois, constitui um conjunto litológico muito susceptível ao intemperismo químico.

A SRAIVB localiza-se no centro-sul da mesorregião de interesse estendendo-se sobre uma estreita faixa que acompanha a borda direita do Rio Paranaíba, e ainda, se estendendo na direção sul-norte, ocupa grande parte das sub-bacias dos rios dos Bois e Meia Ponte. Abrange quase que totalmente os municípios de Turvelândia e Acreúna e, parcialmente, os municípios de Palmeiras de Goiás, Palminópolis, Indiara Edéia, Paraúna São João de Paraúna, Jandaia, Campestre de Goiás, Cezarina e Edealina, todos pertencentes a Microrregião do Vale do Rio dos Bois. Na Microrregião de Meia Ponte a unidade abrange extensas áreas dos municípios de Porteirão, Itumbiara e Vicentinópolis, Castelândia, Maurilândia, Inaciolândia e Goiatuba. Na microrregião de Quirinópolis esta unidade ocupa a porção sul dos municípios de Itarumã, Caçu, Itajá e São Simão. Quirinópolis exhibe áreas a leste e sul e quase a totalidade do

8.4.3 Geologia

A geologia na Mesorregião Sul Goiano é caracterizada por sequencias estratigráficas da bacia sedimentar do Paraná. As litologias que formam o substrato desta bacia são na borda leste: filitos carbonosos, quartzitos e metassiltitos do Grupo Canastra; ortognaisses e migmatitos dos Complexos Indiferenciados; filitos e calcixistos de Grupo Ibiá; e, xistos e quartzitos do Grupo Araxá. No centro, em todo o eixo norte-sul ocorrem ortognaisses e granitos-gnaissos do Complexo Granito-Gnáissico; arenitos do Grupo Paraná; e basaltos da Formação Serra Geral. No sul da borda oeste o substrato é formado por rochas areníticas, conglomerados e siltitos do Grupo Bauru; basaltos e arenitos do Grupo Paraná. Ao norte da borda oeste ocorrem areias fina e grossa da Cobertura Quaternária, sedimentos areno-argilosos das Coberturas Terciárias e, rochas sedimentares dos Grupos Paraná e Aquidauana. A figura 23 apresenta a Carta Geológica da Mesorregião Sul Goiano.

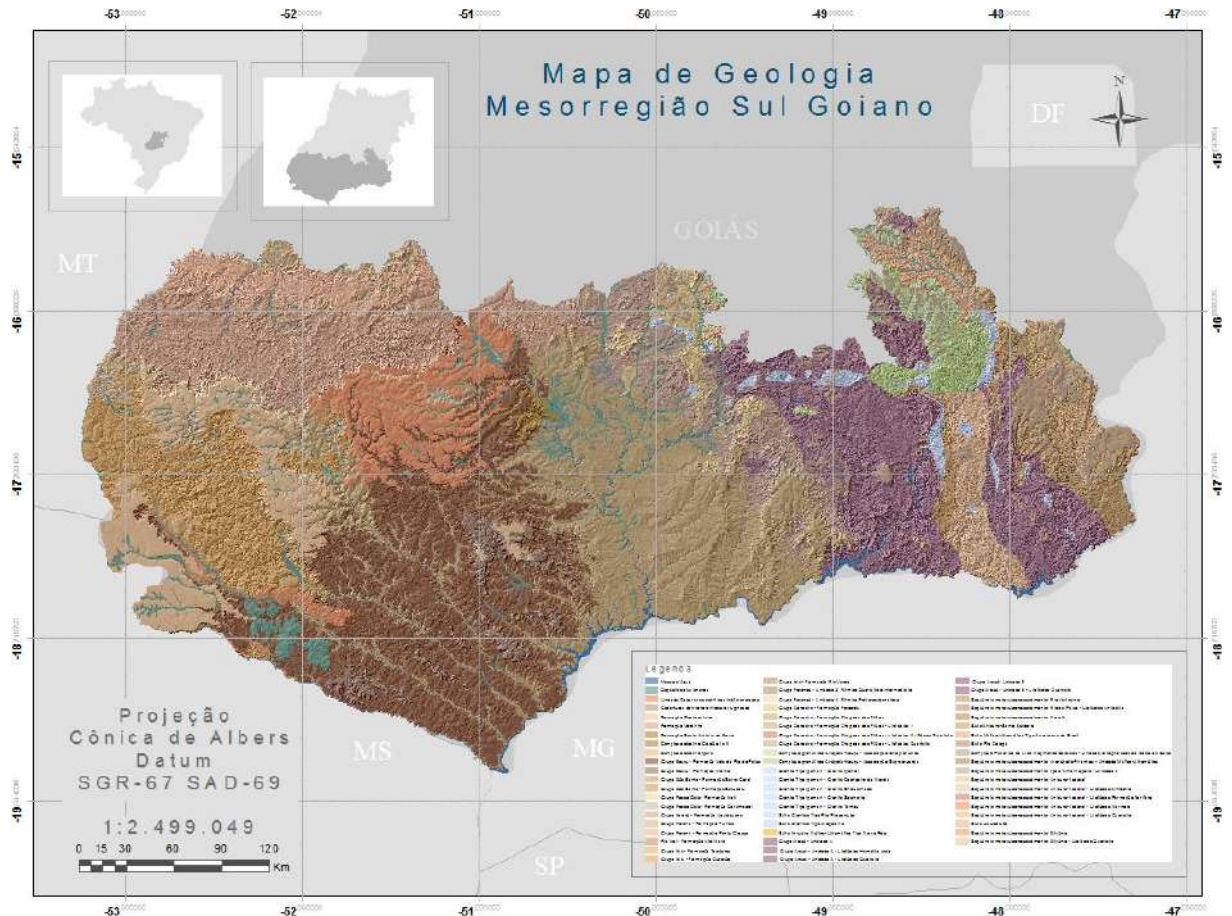


Figura 23 - Mapa de Geologia da Mesorregião Sul Goiano. Fonte SIEG - Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográficas de Goiás / SEGPLAN / GOIÁS

8.4.4 Hidrogeologia

A Mesorregião Sul Goiano está inserida na província hidrogeológica do Paraná (DNPM/CPRM, 1981) sendo caracterizada pela ocorrência de sistemas aquíferos freáticos que são sistemas rasos constituídos exclusivamente por coberturas regolíticas (solo sobre saprolito) e os sistemas aquíferos profundos, livres ou sob confinamento, que inclui unidades litoestratigráficas com espessuras na ordem de dezenas a centenas de metros (ALMEIDA et al., 2006).

No presente diagnóstico foi dada maior atenção aos aquíferos freáticos, uma vez que, neste trabalho considerou-se apenas o potencial de exploração desse tipo de reservatório subterrâneo. Todavia, destacou-se também os principais sistemas aquíferos profundos que constituem reservatórios de importância estratégica cuja recarga é dependente dos aquíferos rasos sobrepostos, além do risco de contaminação.

Desta forma, Almeida et al (2006) distinguem três tipos de sistemas aquíferos rasos e/ou freáticos: *sistema aquíferos freáticos I, II e III* - que foram classificados segundo os diferentes tipos de coberturas de regolitos e solos, considerando-se a textura, a estrutura, a capacidade de armazenamento e a condutividade hidráulica vertical (K_v) de cada sistema.

O sistema aquífero freático I é caracterizado pelas coberturas regolíticas, coluviais ou aluviais de textura arenosa com espessuras que variam de poucos metros até os 40m sobre as quais se desenvolvem solos igualmente arenosos, notadamente, os Neossolos Quartzarênicos. Possuem transmissividade média entre $4,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, porosidade total em torno de 15% e porosidades efetivas acima de 12%. Esses aquíferos constituem sistemas intergranulares, contínuos, livres, de grande extensão lateral e alta importância hidrogeológica devido à capacidade de recarga dos reservatórios mais profundos e de regularização das vazões da rede de drenagem superficial. Na mesorregião de interesse essas unidades pedológicas desenvolvidas a partir de arenitos da Bacia do Paraná formam significativas áreas na Microrregião do Sudoeste de Goiás, como as encontradas nos municípios de Mineiros e Serranópolis.

Encontrando-se fortemente vinculado às *Superfícies Regionais de Aplainamento* com dominância da classe dos Latossolos e relevo suave ondulado a plano, o *sistema aquífero freático ou raso II* é predominante nas quatro microrregiões estudadas. Constitui um sistema composto por regolitos com aproximadamente 20 metros de espessura com massiva

predominância dos solos da classe Latossolo. A estrutura microgranular característica dos solos desta classe, independentemente da textura que apresentam (média, argilosa ou muito argilosa), faz com que tenham comportamento físico-hídrico notadamente similar, normalmente, com alta condutividade hidráulica e elevada porosidade efetiva. Os valores médios de condutividade hidráulica apresentados são de $3,3 \times 10^{-5}$ m/s, em superfície, e de $4,0 \times 10^{-6}$ m/s, em profundidade. Enquanto a porosidade total pode ultrapassar os 20% e a porosidade efetiva é estimada entre 7 a 9% em função da variação textural. Estas características conferem a esses solos ou regolitos destacada importância hidrogeológica, uma vez que, essas coberturas caracterizam-se como aquíferos intergranulares, contínuos, livres de grande distribuição lateral, exercendo funções de filtro e de regulação das descargas de base (ALMEIDA et al., 2006).

Distribuídos sobre relevo ondulado até forte ondulado ou sobre rebordos de chapadas os sistemas aquíferos freáticos III são caracterizados pela ocorrência de solos com horizonte diagnóstico B textural e B nítico, classificados como Argissolos e Nitossolos. Constituem sistemas aquíferos intergranulares, livres, descontínuos e com distribuição lateral ampla com espessura total e saturada na ordem de 20m e 10m, respectivamente. A condutividade hidráulica diminui em profundidade, desencadeando fluxos internos que dificultam a recarga dos sistemas fraturados sotopostos a maiores profundidades, normalmente, compostos por rochas básicas e ultrabásicas e mais raramente carbonáticas. Na região de interesse encontram-se distribuídos de forma pontual em áreas, comparativamente, de menor expressão. Devido às suas funções de regulação e filtragem, os sistemas aquíferos freáticos III constituem sistemas de destacada importância hidrogeológica, uma vez que, os gradientes texturais (enriquecimento de argila em subsuperfície) retardam o fluxo, regulam as descargas de base e funcionam como depuradores das cargas contaminantes. Entretanto, do ponto de vista de recarga dos aquíferos profundos esses sistemas possuem, relativamente, pequena importância hidrogeológica. Localmente, são muito utilizados como reservatórios para abastecimento de pequenas propriedades rurais (Almeida et al., 2006).

Cabe ainda salientar que as áreas cobertas com solos das classes Cambissolos e Neossolos Litólicos não constituem aquíferos freáticos, pois, não desempenham as funções de filtro e regulação, uma vez que, não apresentam zona saturada nem fluxo na porosidade intergranular. Os Gleissolos, por sua vez, como permanecerem até a superfície saturados na maior parte do tempo devido à elevada deficiência de drenagem são considerados como zonas exutórias ou locais de descarga dos aquíferos freáticos e/ou profundos (Almeida et al., 2006).

Quanto aos aquíferos profundos, os principais sistemas distinguidos são os intragranulares, os fraturados e os de dupla porosidade, ocupando respectivamente, a parte central, oeste e leste da região em apreço. Neste contexto, destaca-se os seguintes sistemas: O Sistema Aquífero Aquidauana (SAAQ); o Sistema Aquífero Guarani (SAG); o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG); o Sistema Aquífero Bauru (SABAU) e o Sistema Aquífero Cachoeirinha (SACH) com os principais sistemas profundos encontrados na região de interesse (Almeida et al., 2006).

A figura 24 apresenta o Mapa Hidrogeológico da Mesorregião Sul Goiano.

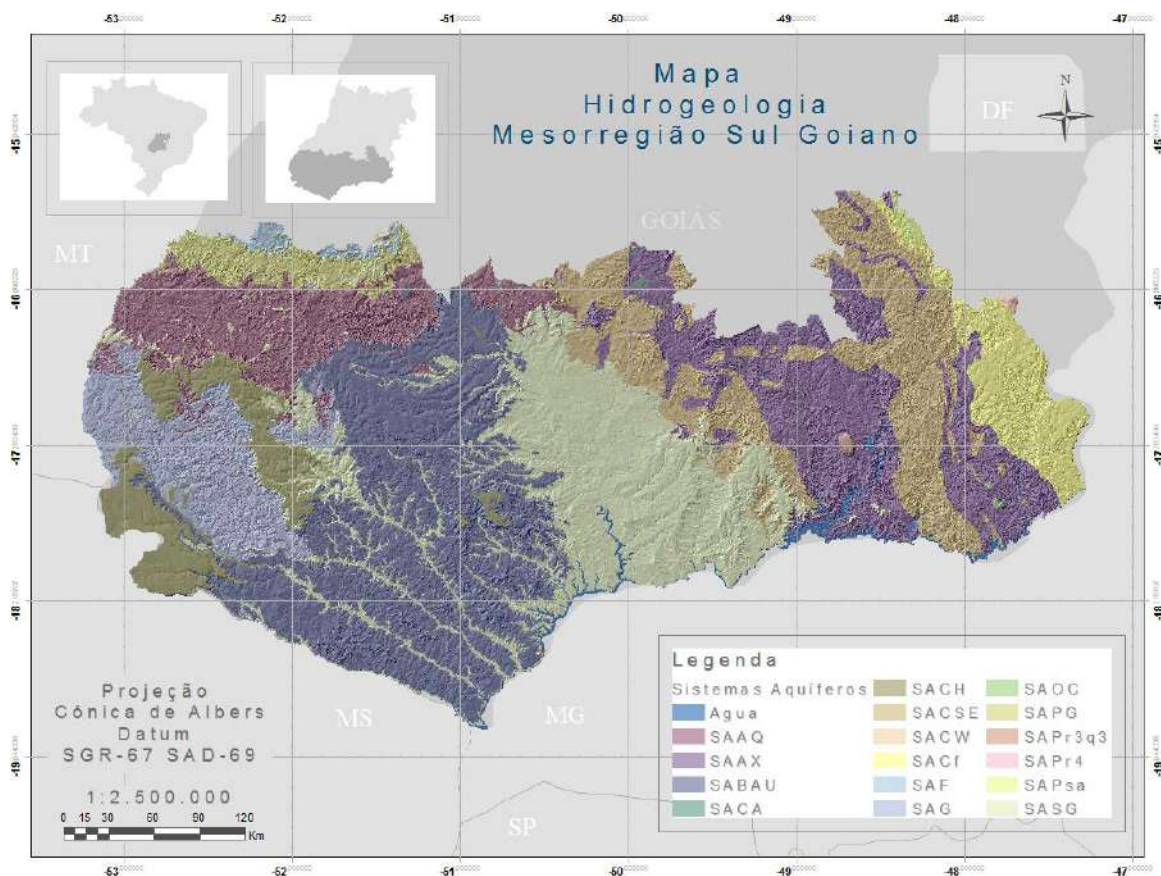


Figura 24 - Mapa Hidrogeológico da Mesorregião Sul Goiano. Fonte SIEG - Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás / SEGPLAN / GOIÁS

8.4.5 Solos

As principais classes de solos na área de estudo são os Latossolos Vermelhos, os Latossolos Vermelho-Amarelos, os Argissolos, os Nitossolos; os Neossolos Quartzarênicos; os Cambissolos, os Neossolos Litólicos; Plintossolos e Gleissolos.

Os Latossolos são os solos solos mais representativos na área de estudo (Mesorregião Sul Goiano) geralmente encontrados nos relevos planos ou suavizados relacionados às diversas Superfícies Regionais de Aplainamento. Os Latossolos Vermelhos estão relacionados a diversos tipos litológicos e podem ser observados em grande parte da área de estudo. Estes solos apresentam grande espessura, coloração vermelha escura e textura variando de argilosa a média/arenosa. Em geral, são distróficos, com moderada capacidade de troca catiônica, o que resulta em baixa fertilidade natural. Os Latossolos Vermelhos de textura argilosa a muito argilosa, em geral, se associam às rochas do Grupo Araxá ou às coberturas terciárias como a Formação Cachoeirinha. Os Latossolos Vermelhos de textura média a arenosa localizam-se, preferencialmente, sobre rochas sedimentares (arenitos) da Bacia do Paraná (grupos Bauru e Botucatu). Na área de ocorrência dos basaltos da Formação Serra Geral, sudoeste do Estado de Goiás (Municípios de Rio Verde, Acreúna, e Cachoeira Dourada) encontram-se Latossolos Vermelhos relacionados às rochas máficas e ultramáficas (ALMEIDA et al., 2006). Anteriormente conhecidos como terra roxa, estes solos possuem reconhecida importância para a atividade agrícola de monoculturas de grãos, principalmente, de soja e milho, devido a sua aptidão preferencial (EMBRAPA 1999). Os Latossolos Vermelho-Amarelos constituem uma classe de solo de menor expressão geográfica na região em apreço. A diferenciação destes solos é feita pela cor do horizonte diagnóstico subsuperficial cujo matiz deve situar-se entre 5YR ou mais vermelho e mais amarelo que 2,5YR, associada a teores de Fe_2O_3 relativamente baixos e ausência de atração magnética. Do ponto de vista químico, as unidades relacionadas aos climas mais úmidos tendem a apresentar distrofismo e caráter álico, em climas mais secos, tendem a maior saturação de bases (EMBRAPA, 1999). As condições topográficas favoráveis em que ocorrem na paisagem, a profundidade, a boa permeabilidade e ausência de impedimentos à mecanização lhes conferem aptidão para uso agropecuário intensivo. Razão pela qual encontram-se, em geral, ocupados por monoculturas ou pastagens. Na área de estudo aparecem, notadamente, no noroeste da mesorregião associada a bacia do rio Araguaia (ALMEIDA et al., 2006). Os Argissolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte diagnóstico B textural de cores avermelhadas a amareladas, com argila de atividade baixa sobposto a horizonte A ou E, apresentando normalmente perfis profundos de seqüência A-E-Bt-C ou A-Bt-C, cuja principal característica é o incremento diferencial de argila em subsuperfície (EMBRAPA, 1999). Os Argissolos Vermelhos compreendem solos predominantemente eutróficos, de textura argilosa, bem estruturados, de coloração avermelhada com matiz de 2,5YR ou mais vermelho e teores de Fe_2O_3 inferiores a 150 g.kg^{-1} . (EMBRAPA, 1999). Registram-se solos desde muito profundos, intermediários

com Latossolos, unidades com caráter abrupto, até solos rasos e bem mais incipientes. Encontram-se distribuídos generalizadamente na região em foco, associados às áreas de relevo mais dissecado, ocorrendo majoritariamente em feições mais onduladas (ALMEIDA et al., 2006). Os Nitossolos são solos minerais com horizonte B nítico de argila de atividade baixa, imediatamente abaixo do horizonte A ou dentro dos primeiros 50 cm do horizonte B. Apresentam textura argilosa ou muito argilosa e estrutura em blocos, moderada ou forte, com superfície dos agregados reluzente, devido a cerosidade. São solos profundos, bem drenados, com cores variando de vermelho a bruno, em geral ácidos e podendo apresentar horizonte A de qualquer tipo (EMBRAPA, 1999). Associados a superfícies, de relevo desde suave a ondulado, os Nitossolos são frequentes na região sul-sudeste de Goiás, encontrando-se distribuídos por toda a área de estudo (Almeida et al., 2006). Os Neossolos Quartzarênicos constituem solos minerais, em geral profundos, com seqüência de horizontes do tipo A-C, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade. Quimicamente, apresentam baixos valores de soma e saturação por bases e, na maioria das vezes, elevada a saturação por alumínio. Apresentam textura arenosa (classes texturais areia ou areia franca) essencialmente quartzosa com ausência de minerais primários alteráveis. São solos muito permeáveis, excessivamente drenados e geralmente sem estrutura desenvolvida (EMBRAPA, 1999). Na área de estudo, os Neossolos Quartzarênicos ocorrem associados aos arenitos das Formações Botucatu e Bauru e do Grupo Urucuia. Constituem solos que apresentam alta colapsidade sendo muito susceptíveis à erosão hídrica. Quando sujeitos a fluxos de água concentrados podem favorecer a instalação e a evolução de extensas voçorocas (Almeida et al., 2006). Os Neossolos Litólicos são solos minerais pouco desenvolvidos com horizonte A ou O com menos de 40 cm de espessura assente diretamente sobre a rocha sã ou intemperizada ou horizonte C ou material com 90% ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha (EMBRAPA, 1999). São solos muito rasos de textura variada sendo comum a presença de cascalhos e calhaus de rochas semi-intemperizadas com altas proporções de minerais primários alteráveis. Na área de estudo, esta classe de solo é geralmente associada com cambissolos e exposições rochosas em áreas de relevo forte ondulado a escarpado ou sobre relevo arrasado. Os Neossolos Flúvicos (solos aluviais) configuram grupo de solos minerais rudimentares, não hidromórficos, formados principalmente nas planícies aluviais, associados aos processos sedimentares fluviais, não existindo relações pedogenéticas entre esses solos e o substrato rochoso subjacente. Possuem apenas o horizonte A como diagnóstico sobre sucessão de camadas estratificadas sem relação pedogenética ou com pedogênese muito restrita. São solos muito variados do ponto de vista

morfológico devido a acentuada anisotropia desses depósitos aluviais, o que lhes confere grande variação textural, teores de carbono e propriedades químicas ao longo do perfil. (EMBRAPA, 1999). Encontram-se na região ocupando áreas mais restritas nos terraços e planícies aluviais associados à rede de drenagem local. Os gleissolos compõem um grupamento de solos constituídos por material mineral com horizonte glei imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte hístico com menos de 40 cm de espessura, ou horizonte glei começando dentro de 50 cm da superfície do solo (EMBRAPA,1999). São solos com deficiência de drenagem, com textura mais argilosas geralmente ricos em matéria orgânica que se localizam nos terrenos com topografia deprimida associado as áreas de descraga dos aquíferos freáticos. Na região encontram-se distribuídos ocupando pequenas áreas. A figura 25 apresenta o mapa de solos da da Mesorregião Sul Goiano.

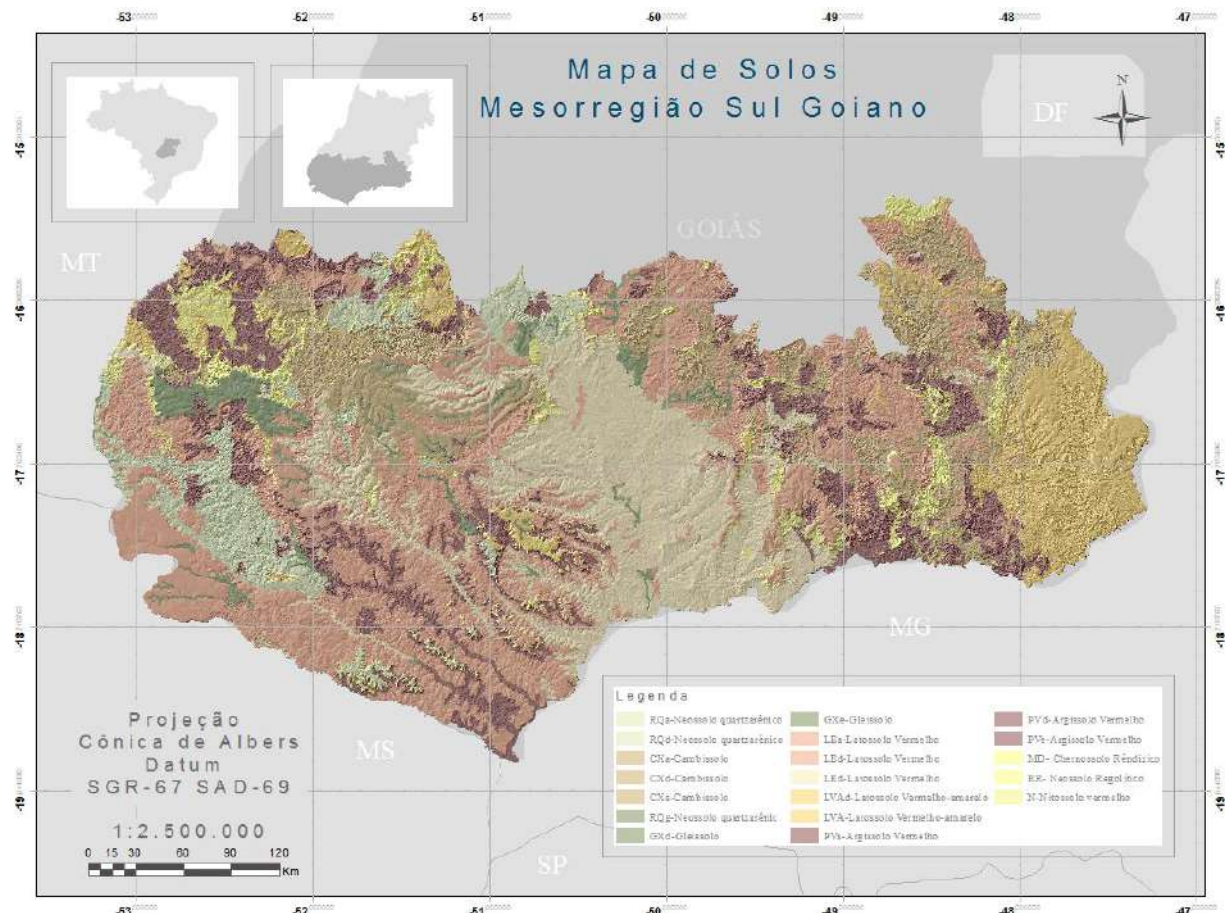


Figura 25 - Mapa de Solos da Mesorregião Sul Goiano. Fonte Adaptado de ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009)

8.4.6 Uso e cobertura do solo

Considerando área de estudo como um todo, as pastagens cultivadas constituem a classe de uso e cobertura do solo predominante, ocupando extensas áreas na porção oeste, noroeste, leste e sul da mesorregião. Nesta última a microrregião de Quirinópolis apresenta grandes percentuais de áreas ocupadas com pastagens para o desenvolvimento das atividades pecuárias.

Na mesorregião em estudo as culturas anuais de grãos representam a tipologia de uso agrícola de maior expressão em área ocupando, notadamente, grande extensões das microrregiões do Sudoeste de Goiás, Meia Ponte e Vale do Rio dos Bois. Concentra-se na região sudoeste, formando uma faixa contínua desde Itumbiara a Mineiros, passando por Rio Verde e Jataí, e nas imediações de Chapadão do Céu, com uma grande concentração de monoculturas, principalmente soja, milho, algodão, sorgo, girassol. A cultura da cana-de-açúcar ainda não tem muita expressão em área mas vem se desenvolvendo em ritmo acelerado, merecendo destaque as ocorrências na porção leste da microrregião do Sudoeste de Goiás (município de Rio Verde e Santa Helena), Meia Ponte, Vale do Rio dos Bois, e, mais recentemente, na de Quirinópolis.

Cerrados e Florestas constituem classes de cobertura do solo que agregam diferentes fitofisionomias do cerrado, incluindo campos limpos, campos sujos, cerradão, cerrado sensu strictu, campo cerrado, matas de galeria e florestas estacionais. Dentre estas verifica-se que predominam as formações de savana. Em geral, as classes de vegetação natural remanescentes encontram-se muito fragmentadas e distribuídos por quase todo a mesorregião. Nota-se a tendência da ocorrência dos fragmentos de vegetação natural em áreas de relevo destacadamente acidentado, em áreas ripárias ou sobre solos incipientes com rochoso e de menor aptidão agrícola. Contudo, na microrregião do Sudoeste de Goiás destacam-se áreas contínuas associadas às Unidades de Conservação, a exemplo do Parque Nacional das Emas no extremo sudoeste da região no Município de Mineiros.

Outros padrões de uso e cobertura do solo como reflorestamentos, corpos hídricos e áreas urbanizadas encontram-se distribuídos de forma localizada, conforme o mapa de Uso de Cobertura do Solo da mesorregião Sul Goiano apresentado na figura 26.

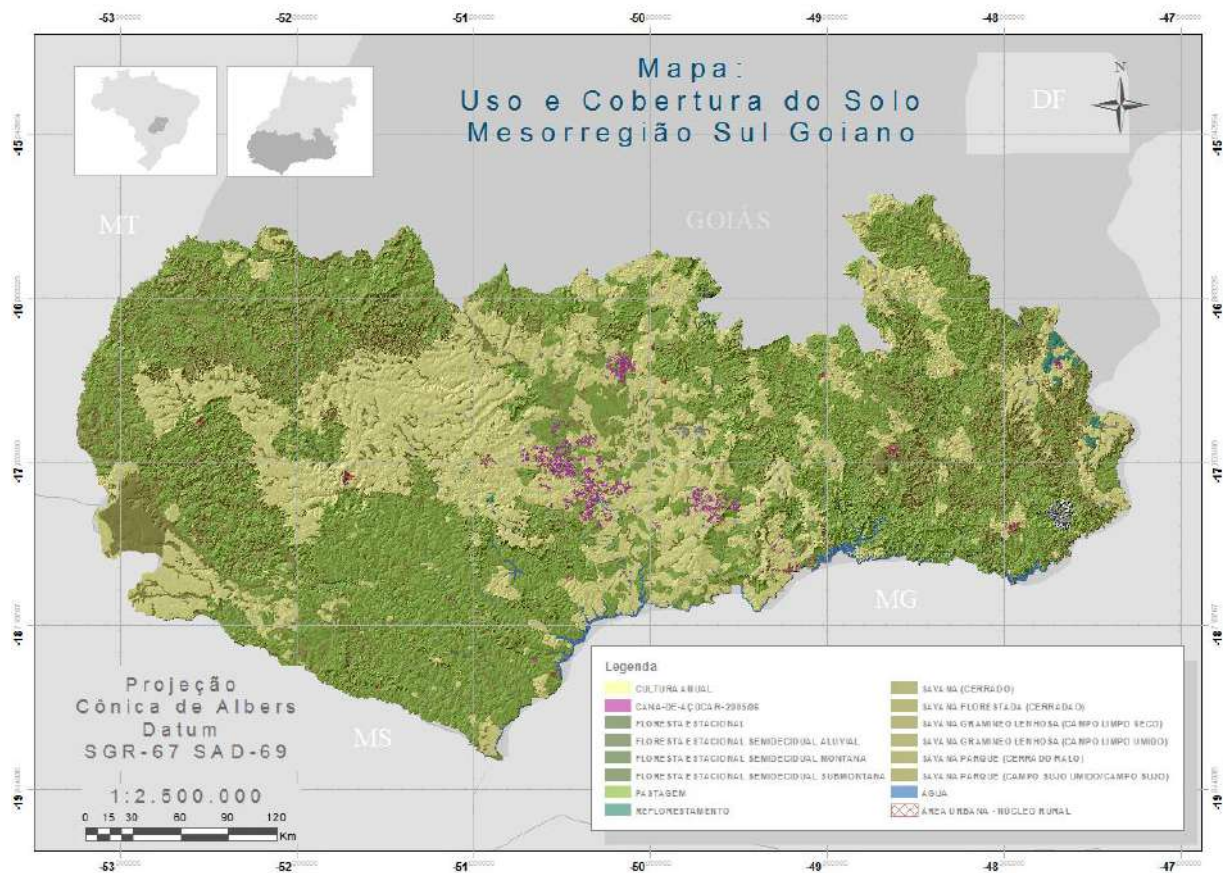


Figura 26 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Mesorregião Sul Goiano. Fonte Adaptado de PROBIO (MMA 2004) e Canasat (INPE).

8.4.7 Hidrografia

A Mesorregião Sul Goiano está inserida em duas grandes bacias hidrográficas: a Bacia Hidrográfica do Rio Paraná e a Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia (figura 27). Ocupando a maior parte da referida mesorregião, a porção pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Paraná é constituída pelos afluentes da margem direita do Rio Paranaíba, que são os rios dos Bois, Claro, Verde, Corrente, Aporé, Corumbá e Meia Ponte. A rede de drenagem não é muito diversificada, sendo no geral de padrão dendrítico ou subparalelo, no sentido norte-sul. O padrão subparalelo é gerado pelo mergulho constante e uniforme de estratos subhorizontais das rochas sedimentares e basaltos da Bacia do Paraná que mergulham numa estrutura monoclinial e pela declividade regional, no mesmo sentido da unidade geomorfológica SRAIIB-RT, como ocorre nos municípios de Rio Verde e Montividiu. Em alguns trechos da mesorregião, devido a controles estruturais, a drenagem apresenta padrões paralelo como no sul da borda oeste da

bacia, municípios de Caçu, Itarumã e Itajá, e ainda, radial a exemplo da ocorrência registrada no município de Cristalina (ALMEIDA et al., 2006).

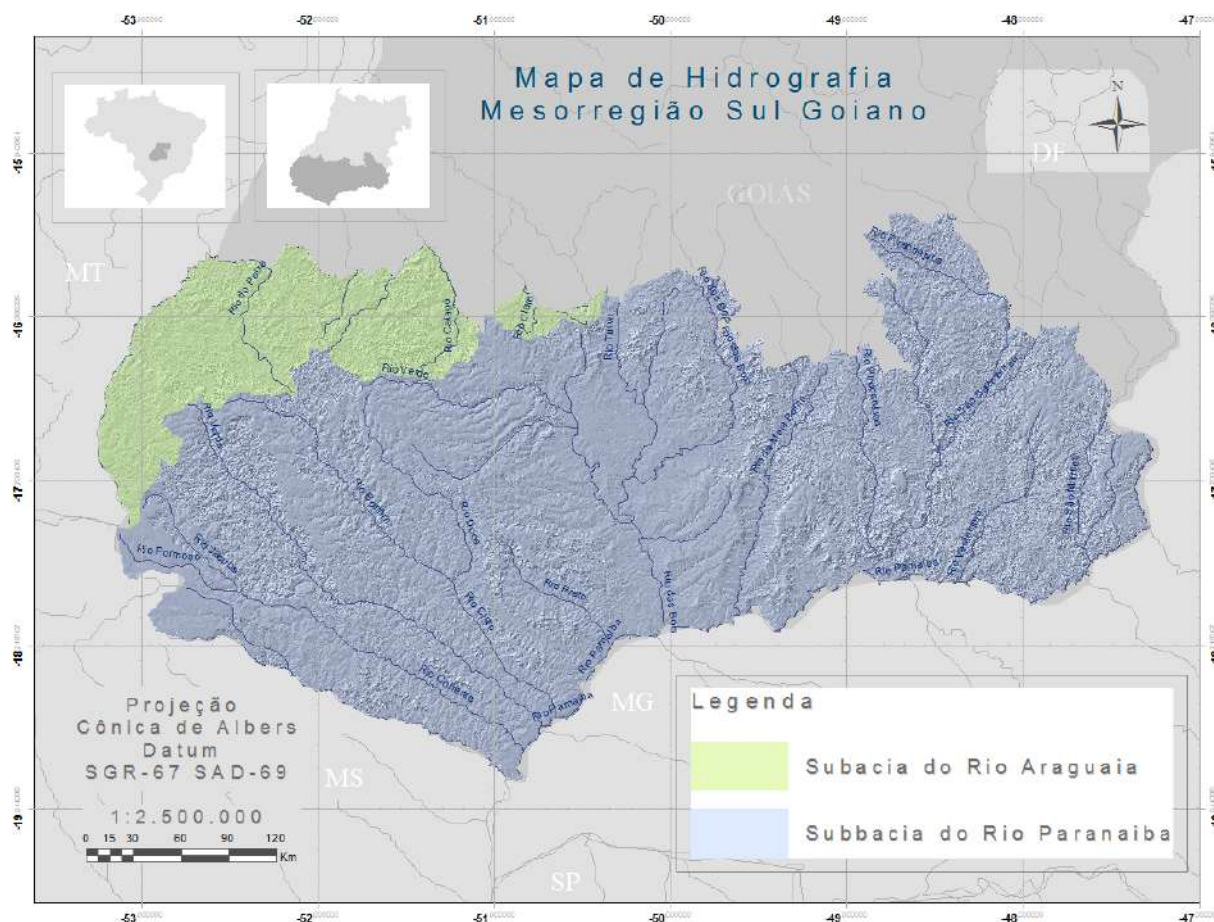


Figura 27 - Carta hidrográfica da Mesorregião Sul Goiano. Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas)

8.5 Desenvolvimento do estudo de caso

8.5.1 Procedimentos Metodológicos

8.5.1.1 Principais etapas e recursos computacionais

As principais etapas e recursos computacionais encontram-se sumarizados a seguir:

- **1ª etapa - Aquisição de dados:** A primeira etapa consistiu na aquisição, seleção e organização dos dados utilizados para a geração de modelos ou estimativa direta dos dados ou parâmetros para o cálculo dos indicadores. Os dados alfanuméricos em formato diversos (*txt*; *xls*; *accdl*) ou os dados espaciais em formato *shape* foram adquiridos diretamente por *download* dos bancos de dados das fontes detentoras que os dispõem *on line* ou adquiridos após solicitação às instituições e/ou aos autores dos modelos utilizados;
- **2ª etapa - Tratamento dos dados:** A segunda etapa consistiu na estruturação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando-se o pacote computacional *ArcGIS da ESRI/ ArcMap/ArcCatalog* nas versões 9.3 e 10, onde os arquivos *shape* referentes aos diferentes temas ou modelos foram organizados e trabalhados. Após o geoprocessamento, os dados calculados ou estimados foram selecionados, extraídos e exportados do *ArcMap* (formato *dbf*) para o *Excel/Microsoft/Office* (formatos *xls*; *xlsx*). Os dados hidrológicos foram obtidos na ANA/HidroWeb e trabalhado com o auxílio do pacote computacional *SisCAH 1*
- **3ª etapa - Efetivação do cálculo dos indicadores:** A terceira etapa, primeiramente, consistiu na tabulação, organização e avaliação da consistência dos dados em planilhas *Excel/Microsoft/Office*. Por fim, no mesmo ambiente computacional foi realizado o cálculo dos dados ou parâmetros intermediários e dos indicadores, seguido da elaboração dos gráficos e Figuras de apresentação dos resultados.

8.5.1.2 Sistema de coordenadas e de projeção adotado

O presente trabalho seguiu as especificações adotadas e recomendadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) que estabeleceu por meio das Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro, anexo à Resolução COCAR nº 02/83, de 21/07/1983, o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) que adotou como imagem geométrica da Terra o elipsóide do sistema geodésico de referência SGR-67, aceito e recomendado pela UGGI (União Geodésica e Geofísica Internacional*), em Lucerna, no ano de 1967 e o South American Datum (SAD) que foi estabelecido, desde 1969, como o sistema geodésico regional para a América do Sul.

Assim sendo, o o SGB integra o SAD-69 é definido a partir das seguintes especificações:

- Elipsóide SGR-67
 - Orientação geocêntrica: eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra; plano meridiano origem paralelo ao meridiano de Greenwich;
- Orientação topocêntrica: considerado como datum planimétrico, o Vértice Chuá da cadeia de triangulação do paralelo 20° Sul, em Minas Gerais:
 - latitude geod.= 19° 45' 41,6527" S
 - lat. astron.= 19° 45' 41,34" S
 - longitude geod.= 48° 06' 04,0639" W
 - long. astro.= 48° 06' 07,80" W
 - Azimute geod.= 271° 30' 04,05" SWNE Az. astron.= 271° 30' 05,42" SWNE para VT-Uberaba
 - ondulação geoidal N = 0,0m
- Datum altimétrico do SGB: coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas em Imbituba, no litoral de Santa Catarina.

Além do sistema geodésico de referencia ao qual todos os dados espaciais foram referenciados, utilizou-se como sistema de projeção cartográfica a Projeção Cônica de Albers. Justifica-se a adoção desta, por tratar-se de uma projeção cartográfica equivalente ou isométrica, ou seja, que mantém a proporção das áreas, justamente, o principal fundamento para a determinação de grande parte dos indicadores propostos que estabelecem relações entre áreas qualificadas e as áreas das Unidades Territoriais de Análise. Além disso é considerada uma projeção cartográfica adequada para o mapeamento temático acima de 1:250.000 de áreas com extensão predominante leste-oeste, como é o presente caso, substituindo, com vantagens todas as outras cônicas equivalentes (MCMASTER, 1992)

8.5.1.3 Procedimentos metodológicos e critérios adotados para o cálculo dos indicadores.

A seguir serão apresentados os processos metodológicos e critérios técnicos da elaboração dos modelos utilizados para a extração de parâmetros utilizados no cálculo de cada indicador ou grupo de indicadores pertencentes aos módulos A e B do Nível Estratégico do Sistema de Indicadores para a Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira (SISH- Cana).

8.5.1.3.1 Procedimento Metodológico 1

O Procedimento metodológico 1 diz respeito a determinação dos indicadores da Categoria 1: *Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira* que compõe o Grupo 1 do Módulo A do SISH-Cana . O Grupo 1 dos Indicadores do Módulo A SISH-Cana contém três indicadores de favorabilidade das áreas quanto às condições de aptidão agrícola (edafoclimática) para a expansão e desenvolvimento da cultura canavieira. O Quadro 20 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 20 - Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática para a cultura canavieira.

Grupo 1 do Módulo A do Nível Estratégico do SISH-Cana	
Indicadores	Fórmulas
IAFC - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira	$IAFC_T = S_{fc}/Stu$
IAFS - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro	$IAFC_S = S_{fs}/Stu$
IAIC - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória	$IAFC_I = S_{ic}/Stu$

Nota: (i) S_{UTA} = Área Total da Unidade Territorial de Análise (ha); (ii) S_{FT} = Área Total Favorável à Cultura Canavieira (ha); (iii) S_{FS} = Área Total Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (ha); (iv) S_{IC} = Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira (ha).

Os parâmetros para os cálculos desses três indicadores são extraídos de zoneamentos de aptidão agrícola e de risco climático específicos para a cultura da cana-de-açúcar. Desta forma, se faz necessário a elaboração ou obtenção dos referidos modelos para que se possa realizar a extração dos dados requeridos para o cálculo dos indicadores propostos.

No presente estudo foram utilizados os dados do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar - ZAE-Cana (EMBRAPA 2009), pois, tratando-se, fundamentalmente, de um zoneamento edafoclimático gerado a partir da integração de um modelo de risco climático com a avaliação da aptidão edáfica dos solos para a cultura da cana-de-açúcar, o mesmo dispõe dos dados necessários para a determinação dos indicadores explicitados (Figura 28).

Como os resultados do ZAE-Cana estão disponíveis em Figuras e mapas no formato PDF, para consulta via visualizador *Web*, contendo apenas informações sumarizadas das estimativas de áreas aptas à produção de cana-de-açúcar por município e tipo de uso da terra, para a realização do presente estudo, se fez necessário a obtenção dos arquivos *shapes* e

Figuras associadas (formatos: *shp* e *dbf*). Deste modo, foi possível se extrair os dados dos modelos de risco climático e de aptidão edáfica, necessários para a determinação das áreas favoráveis à cultura canavieira em sistemas de sequeiro e as áreas de irrigação compulsória requeridas para a determinação dos indicadores supracitados.

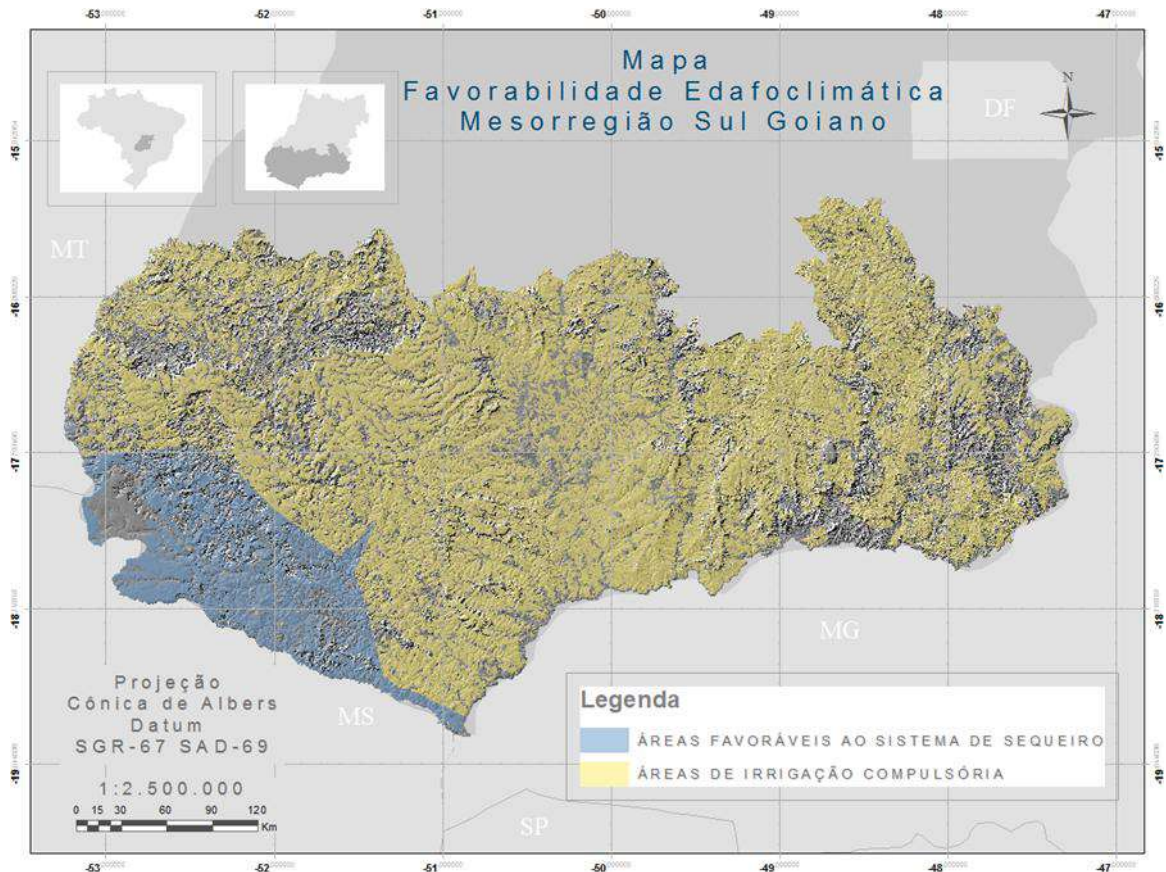


Figura 28 - Mapa de favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira na Mesorregião Sul Goiano. Fonte: Modelo adaptado do ZAE-Cana (Embrapa 2009)

Como os resultados do ZAE-Cana estão disponíveis em Figuras e mapas no formato PDF, para consulta via visualizador Web, contendo apenas informações sumarizadas das estimativas de áreas aptas à produção de cana-de-açúcar por município e tipo de uso da terra, para a realização do presente estudo, se fez necessário a obtenção dos arquivos shp e Figuras associadas (formatos: *shp* e *dbf*). Deste modo, foi possível se extrair os dados dos modelos de risco climático e de aptidão edáfica, necessários para a determinação das áreas favoráveis à cultura canavieira em sistemas de sequeiro e as áreas de irrigação compulsória requeridas para a determinação dos indicadores supracitados.

Para que o leitor possa ter a clareza sobre a conceituação das áreas anteriormente explicitadas e sobre o significado e aplicação dos indicadores derivados, a seguir serão

especificados os principais critérios utilizados no Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (ZAE-Cana) que foi adotado como referência e fonte de dados no presente trabalho.

De maneira resumida os mapas do Zoneamento do ZAE-Cana por Unidade da Federação com o município como unidade de análise foram elaborados a partir da integração dos mapas de risco climático, aptidão edáfica, restrições ambientais, relevo e uso e cobertura do solo.

O mapa de risco climático foi estabelecido a partir da análise e estudo probabilístico dos riscos climáticos baseados nas variáveis climáticas das séries históricas, definindo em função do ciclo e da demanda hídrica da cultura canavieira as melhores áreas e épocas para o plantio e cultivo. No âmbito do ZAE-Cana quatro variáveis agrometeorológicas foram consideradas para a delimitação das áreas de risco climático: temperatura média do ar, deficiência hídrica anual, índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) e o risco de geada. A integração dessas variáveis define as áreas de alto e baixo risco climático para a cultura da cana-de-açúcar nas condições climáticas brasileiras. O Quadro 21 apresenta os critérios de risco climático sumarizados, utilizados no ZAE-Cana e adotados para a realização do estudo ora apresentado.

Quadro 21 - Critérios de risco climático utilizados no ZAE-Cana. (continua)

LEGENDA	CRITÉRIOS	CLASSE	DESCRIÇÃO	INDICAÇÃO
A	Temperatura média anual > 19° C ISNA > 0,6 Geada < 20% Deficiência Hídrica < 200 mm	Baixo Risco	Sem limitação ao cultivo	Área indicada
B	Temperatura média anual > 19° C ISNA > 0,6 Geada < 20% Deficiência Hídrica entre 200 e 400 mm	Baixo Risco	Irrigação de salvamento Indicada	Área indicada
C	Temperatura média anual < 19° C ou geada > 20% ISNA > 0,6 Geada < 20% Deficiência Hídrica entre 200 e 400 mm	Alto Risco	Carência térmica /alto risco de geada	Área não indicada

Quadro 21 - Critérios de risco climático utilizados no ZAE-Cana. (conclusão)

LEGENDA	CRITÉRIOS	CLASSE	DESCRIÇÃO	INDICAÇÃO
D	ISNA < 0,6 e Deficiência Hídrica > 400 mm	Alto Risco	Irrigação intensiva imprescindível	Área não indicada
E	Período seco < 3 meses	Alto Risco	Excesso de água com prejuízo para maturação e colheita	Área não indicada

Nota: Adaptado de Embrapa (2009)

A aptidão pedológica ou edáfica realizada no ZAE-Cana consistiu na avaliação do potencial de produção agrícola de cada classe de solo para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar. O método adaptado de Ramalho Filho & Beek (1995) consiste na avaliação dos graus de limitação de fatores definidos pelas características físicas e químicas de cada classe de solo em avaliação. Considerou-se apenas o nível de manejo C, definida por Ramalho Filho & Beek (1995), como sendo aquele que emprega práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico. O nível de manejo C, além da utilização de motomecanização nas diversas fases da operação agrícola, caracteriza-se pela aplicação intensiva de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. Divergindo do método de aptidão agrícola descrito por Ramalho Filho & Beek (1995) no ZAE-Cana as características de relevo das unidades pedológicas não foram consideradas, visto que se adotou o critério de excluir as terras com declividade superior a 12%.

Assim sendo, o potencial pedológico foi avaliado segundo seis fatores de limitação aos quais foram atribuídos os seguintes graus de limitação: Nulo, Ligeiro, Moderado, Forte e Muito Forte - de acordo com as características apresentadas por cada unidade pedológica avaliada. De acordo com o grau máximo de limitação dos fatores de limitação das terras permitidos para o nível de manejo C foram instituídas as seguintes classes de aptidão pedológica ou edáfica: Classe de Aptidão Preferencial (P), Classe de Aptidão Regular (R), Classe de Aptidão Marginal (M) ou Classe Inapta (IN). Cumpre salientar que os termos Preferencial, Regular e Marginal correspondem a Alto (A), Médio (M) e Baixo (B), respectivamente.

No âmbito do ZAE-Cana a avaliação da aptidão pedoclimática ou edafoclimática foi realizada através do cruzamento das informações de aptidão pedológica com as informações de aptidão climática excluindo-se a princípio as restrições referentes a outros temas. A integração entre as classes de aptidão pedológica e climática e as classes resultantes de aptidão pedoclimática são apresentadas no Quadro 22.

Quadro 22 - Classes de aptidão edafoclimática utilizadas no ZAE-Cana.

		APTIDÃO CLIMÁTICA				
		A	B	C	D	F
APTIDÃO EDÁFICA	P	P	R	IC	ID	IE
	R	R	R	IC	ID	IE
	M	MS	MS	IC	ISC	IE
	IN	IS	IS	ICIS	ICIS	ICIS

Nota: Legenda: (P) Áreas com aptidão agrícola Alta; (R) Áreas com aptidão agrícola Média; (MS) Áreas com aptidão agrícola Baixa; (ISC) Áreas inaptas pela integração entre solo e clima; (IC) Áreas inaptas por clima: carência térmica ou alto risco de geada; (ID) Áreas inaptas por clima: irrigação intensiva imprescindível; (IE) Áreas inaptas por clima: excesso de água com prejuízo para a maturação e colheita; (ICIS) Áreas inaptas por clima e sol; (IS) Áreas inaptas por solo. Fonte: Adaptado de Embrapa (2009)

A etapa seguinte consistiu no cruzamento entre os dados de aptidão edafoclimática e os de uso do solo provenientes do projeto PROBIO coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente que, utilizando imagens de satélites ano base 2002, realizou o mapeamento do uso e cobertura vegetal do território nacional. Desta forma, a legenda final do ZAE-Cana agrega a legenda de usos da terra composta pelas classes: cultura agrícola (Ac); pastagens cultivadas (Ap) e agropecuária (Ag) (EMBRAPA, 2009).

Para concluir o ZAE-Cana foram eliminadas as áreas de restrição legal e/ou ambiental como Unidades de Conservação, Terras Indígenas, dentre outras, as áreas já ocupadas com a cultura com a cultura da cana-de-açúcar do ano agrícola 2007/2008, provenientes dos dados CANASAT/INPE e as áreas com declividade maior a 12% determinadas a partir de um modelo de declividade.

Assim, segundo o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar as áreas indicadas para a expansão compreendem aquelas edafoclimaticamente aptas com declividades inferiores a 12%, atualmente em produção agrícola intensiva, produção agrícola semi-intensiva ou pastagens. Para tanto, foram estabelecidas três classes de aptidão agrícola (alto, médio e

baixo) discriminadas por tipo de uso atual predominante (Ag – Agropecuária, Ac – Agricultura e Ap – Pastagem) (EMBRAPA, 2009).

O Quadro 23 apresenta a legenda final do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar. Cabe mencionar que para o Estado de Goiás, de interesse imediato deste trabalho, a classe agropecuária (Ag) que a princípio designa uma área antropizada de categoria mista, agricultura e pecuária, ou não se distingue exatamente a categoria de uso da terra, foi eliminada visto que foi feito um ajuste de campo reclassificando-as entre as categorias agricultura e pastagens (comunicação direta)

Quadro 23 - Legenda final utilizada no ZAE-Cana.

LEGENDA		DESCRIÇÃO
P	Ap	Áreas aptas ao cultivo com aptidão agrícola ALTA, atualmente utilizadas com pastagens
R	Ap	Áreas aptas ao cultivo com aptidão agrícola MÉDIA, atualmente utilizadas com pastagens
M	Ap	Áreas aptas ao cultivo com aptidão agrícola BAIXA, atualmente utilizadas com pastagens
P	Ag	Áreas aptas ao cultivo com aptidão agrícola ALTA, atualmente utilizadas com agropecuária
R	Ag	Áreas aptas ao cultivo com aptidão agrícola MÉDIA, atualmente utilizadas com agropecuária
M	Ag	Áreas aptas ao cultivo com aptidão agrícola BAIXA, atualmente utilizadas com agropecuária
P	Ac	Áreas aptas ao cultivo com aptidão agrícola ALTA, atualmente utilizadas com agricultura
R	Ac	Áreas aptas ao cultivo com aptidão agrícola MÉDIA, atualmente utilizadas com agricultura
M	Ac	Áreas aptas ao cultivo com aptidão agrícola BAIXA, atualmente utilizadas com agricultura

Nota: Adaptado de Embrapa (2009)

No presente trabalho para a determinação das áreas: (i) Área Favorável à Expansão; (ii) Área Favorável ao Sistema de Sequeiro; e, (iii) Área de Irrigação Compulsória; que compõem os índices correlatos, utilizou-se o modelo da aptidão edafoclimática elaborado no âmbito do ZAE-Cana conforme apresentado anteriormente. Independentemente do uso atual da terra para efeito da determinação das áreas aptas considerou-se apenas as áreas de aptidão

edáfica “Preferencial” (P) e “Regular” (R) excluindo-se as áreas categorizadas como “Marginais”, consideradas de aptidão pedológica baixa. Em relação ao modelo de risco climático, mantendo os critérios estabelecidos no ZAE-Cana, considerou-se apenas as áreas de “Baixo Risco Climático”, categorias “A” e “B”, que significam “Sem limitação ao cultivo” e “Irrigação de Salvamento Indicada”, respectivamente. Desta forma, com resultado do cruzamento entre os modelos de aptidão edáfica e de o risco climático/ aptidão climática do ZAE-Cana, definiu-se as áreas supracitadas, conforme apresentado no Quadro 24.

Quadro 24 - Cruzamento entre a aptidão edáfica e climática e determinação das áreas favoráveis.

		APTIDÃO CLIMÁTICA				
		A	B	C	D	F
APTIDÃO EDÁFICA	P	AP (P)	BP (R)	IC	ID	IE
	R	AR (R)	BR (R)	IC	ID	IE
	M	MS	MS	IC	ISC	IE
	IN	IS	IS	ICIS	ICIS	ICIS

Nota: Legenda: (AP + AR) Áreas Favoráveis à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (Sfs); (BP + BR) Áreas de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira (Sic); (AP + AR + BP + BR) Áreas Favoráveis à Cultura Canavieira (Sfc). Fonte da aptidão edáfica e climática ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009)

Portanto, as favoráveis à expansão da cultura da cana-de-açúcar, conforme proposto neste trabalho, ficam assim definidas considerando-se os critérios estabelecidos no ZAE-Cana:

- **Áreas Favoráveis à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (Sfs):** Correspondem às áreas antropizadas com declividade abaixo de 12% e solos de aptidão alta e média, sem restrições ambientais/legais, cuja disponibilidade hídrica climática permite o desenvolvimento satisfatório da cultura canavieira em sistema de sequeiro;
- **Áreas de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira (Sic):** Correspondem às áreas antropizadas com declividade abaixo de 12% e solos de aptidão alta e média, sem restrições ambientais/legais, cuja disponibilidade hídrica climática somente permite o desenvolvimento satisfatório da cultura canavieira com o emprego de sistema de irrigação de salvamento e/ou suplementar;

- **Áreas Favoráveis à Cultura Canavieira (Sfc):** Correspondem às áreas antropizadas com declividade abaixo de 12% e solos de aptidão alta e média, sem restrições ambientais/legais, cuja disponibilidade hídrica climática, indistintamente, permite o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro ou em sistema de irrigação de salvamento e/ou suplementar. Corresponde a integração das áreas favoráveis ao sistema de sequeiro com as de irrigação compulsória;

Cumprir observar que dentro do conceito de *Áreas Favoráveis à Expansão*, conforme utilizado neste trabalho, não exclui as áreas atualmente já ocupadas com a cultura canavieira.

Significando o potencial de áreas aptas para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar circunscritas em uma unidade territorial de análise qualquer, independentemente, da ocorrência prévia da cultura canavieira e da condição de favorabilidade hídrica climática.

Contudo no Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar adotou-se o critério de excluir as áreas já ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar para que os resultados pudessem expressar o quantitativo de áreas aptas por município ainda disponíveis para a expansão da cultura canavieira (comunicação pessoal). Por esta razão, os shapes finais com todos os modelos integrados do ZAE-Cana não contêm as áreas ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar do ano agrícola base de 2007/2008, dados provenientes do CANASAT (INPE). Portanto, foi necessário obter o shape do modelo de aptidão edafoclimática anterior a exclusão das áreas de cana-de-açúcar (CANASAT ano agrícola 2007/2008) e refazer a operação de geoprocessamento para a exclusão das áreas de declividade acima de 12%. As Figuras geradas foram sumarizadas e exportadas para Excel onde os dados foram analisados e consistidos antes de se realizar os somatórios das áreas qualificadas: Favoráveis ao Sistema de Sequeiro; Irrigação Compulsória; Favoráveis à Expansão; por município e microrregião.

Para o cálculo dos indicadores do Grupo 1, além das áreas de favorabilidade anteriormente referidas, são necessárias as áreas totais das unidades territoriais de análise (Stu) que, no caso, são os municípios e microrregiões, dados estes obtidos, diretamente, da base de dados do IBGE, conforme apresentado na figura 19.

A figura 29 apresenta o esquema sumarizando da metodologia para o ajuste dos shapes, extração e cálculo dos Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática (IAFC, IAFS e IAIC).

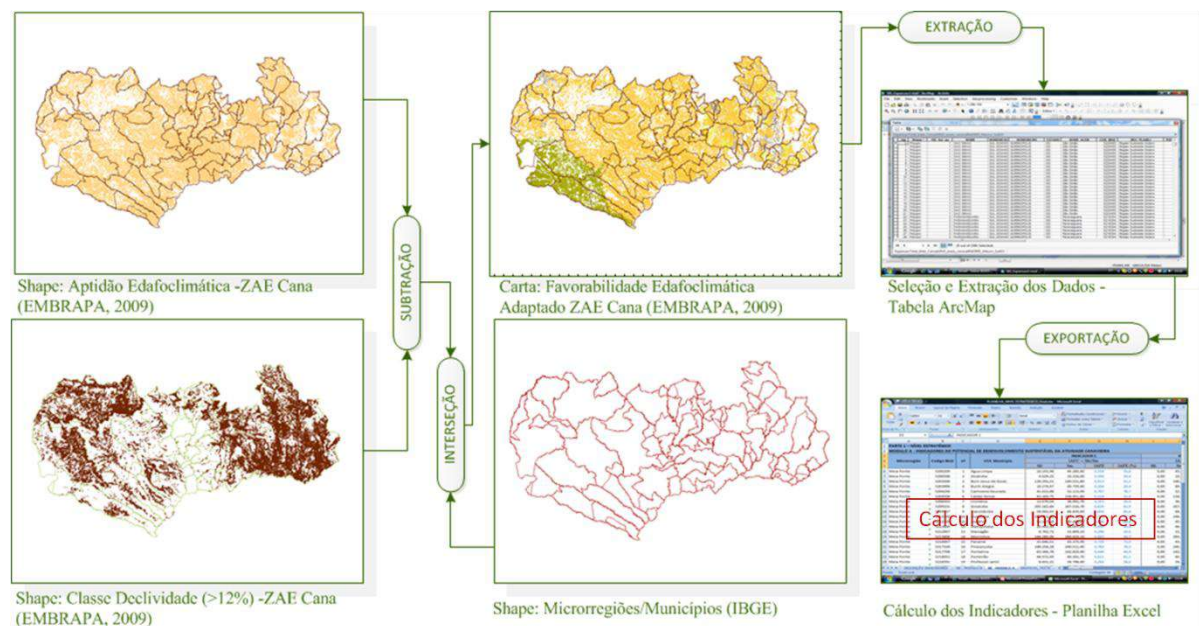


Figura 29 - Esquema resumindo a metodologia para o ajuste dos shapes, extração e cálculo dos Indicadores de Favorabilidade Edafoclimática (IAFC, IAFS e IAIC).

8.5.1.3.2 Procedimento Metodológico 2

O procedimento 2 diz respeito à elaboração do modelo hidrológico, extração dos dados e cálculos necessários para a determinação dos indicadores das Categorias: (i) 5 *Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira*; (ii) 6: *Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira* - que compõem respectivamente os grupos 2 e 3 do Módulo A do SISH-Cana . O Grupo 2 do referido módulo contém dois indicadores que, em relação à oferta hídrica regional, descrevem o grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda potencial de água da atividade canavieira nas unidades territoriais de análise em apreciação. Enquanto o Grupo 3 contém dois indicadores que, estabelece o grau de atendimento da demanda potencial de água da atividade canavieira com base na disponibilidade hídrica das unidades em apreço

O Quadro 25 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 25 - Indicadores de sustentabilidade hídrica (2º Grupo do Módulo A do Nível Estratégico do SISH-Cana).

2º GRUPO DO MÓDULO A DO NÍVEL ESTRATÉGICO DO SISH-CANA	
INDICADORES	FÓRMULAS
ICDHs - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a atividade canavieira em sistema de Sequeiro	$ICDHs = DeHs/DiHt$
IADHs - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para a cultura canavieira em Sistema de Sequeiro	$IADHs = Smes/Sfs$
ICDHi - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a atividade canavieira em Sistema de Irrigação	$ICDHi = DeHi/DiHt$
IADHi - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para a cultura canavieira em Sistema de Irrigação	$IADHi = Smei/Sic$

Nota: (i) DeH - Demanda hídrica da atividade canavieira; (ii) DiH - Disponibilidade hídrica; (iii) S_{fs} - Área favorável à cultura canavieira em sistema de sequeiro; (iv) S_{ic} - Área de irrigação compulsória para a cultura canavieira; (v) S_{me} - Área máxima expansão sustentada. Obs: (i) “s” - Sistema de Sequeiro; (ii) “i” – Sistema de Irrigação Compulsória.

Para a determinação dos indicadores supracitados é necessário se estimar a disponibilidade hídrica e a demanda potencial de água requerida pela atividade canavieira conforme as Unidades Territoriais de Análise (UTA) adotadas. O problema evidenciado é que, quando as UTAs forem unidades político-administrativas (microrregiões e municípios), deve-se valer de algum modelo hidrológico que possa estabelecer o potencial hídrico regional para se estimar a produção ou oferta de água de cada UTA. Desta forma, modelos regionais com base em alguma vazão característica ou índices hidrológicos espacialmente distribuídos, dos quais se possam extrair os dados para o cálculo da disponibilidade hídrica para a determinação dos indicadores explicitados em cada UTA podem ser úteis. Por outro lado, modelos de balanço hídrico climático que permitam a estimativa dos excedentes e déficits hídricos para a determinação da necessidade de irrigação e, conseqüentemente, da quantidade de água demandada pela cultura de interesse.

Desta forma, se faz necessário a elaboração ou obtenção dos referidos modelos para que se possa realizar a extração dos dados requeridos para o cálculo dos indicadores propostos.

No presente estudo, para a estimativa da oferta hídrica regional foi proposto e elaborado um modelo espacialmente distribuído com base no índice regional de vazão específica.

Um dos primeiros problemas para a elaboração dos modelos distribuídos ou espacializados de uma dada variável hidrológica como, por exemplo, a vazão, consiste na inexistência ou escassez dos dados que permitem a sua estimativa. A baixa densidade das redes de estação fluviométrica ou a falta de uniformidade da distribuição dos seus postos de medição estão por trás do problema que exige, por sua vez, algum procedimento metodológico com vistas a superá-lo. Para contornar o problema, minimizando as incertezas nos processos de estimativa das vazões em locais sem informação, podem ser empregados modelos hidrológicos com parâmetros extrapolados ou técnicas de regionalização hidrológica (AGRA *et al.*, 2005). Apesar da importância dos modelos hidrológicos nos estudos de simulação, como método de caracterizar, com suficiente rigor, o regime de vazões de um sistema hidrológico (VEIGA DA CUNHA *et al.*, 1980; *apud* AGRA *et al.*, 2005), as técnicas de regionalização hidrológica surgem como uma alternativa para estudos nos quais não se necessita de estimativas de elevada acurácia. Portanto, no presente procedimento metodológico optou-se por estabelecer um modelo simplificado para a regionalização do índice *vazão específica* adotado como estimador da disponibilidade hídrica regional.

Na verdade a regionalização hidrológica consiste numa variedade de técnicas e métodos de interpolação e extrapolação que permitem a transferência espacial da informação hidrológica de um local para o outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. (TUCCI, 2002). Mas o princípio fundamental da regionalização é o conceito da similaridade espacial da informação o que torna possível a transferência de informações regionalizadas para sintetizar dados de vazão (AGRA *et al.*, 2005). Cumpre enfatizar, no entanto, que apesar de constituir uma ferramenta de grande utilidade para a espacialização da informação hidrológica, a regionalização de vazões não substitui a informação local, mas apenas, diminuem as incertezas por causa da falta desta (TUCCI 2002).

A transferência de informação nos diferentes métodos de regionalização hidrológica pode ser feita na forma de uma função, variável ou parâmetros desta. No caso de uma função hidrológica, a regionalização se torna possível quando a função que descreve um determinado comportamento hidrológico é ajustada com dados regionais, e, pode ser equacionada a partir da entrada de dados (fisiográficos e/ou climatológicos) referentes aos locais para os quais se pretende obter a informação regionalizada. De modo análogo, uma variável hidrológica pode ser regionalizada a partir da sua estimativa por meio de dados disponíveis, obtidos pontualmente em outros locais. Em ambos os casos observa-se a necessidade de se considerar a similaridade dos atributos hidrológicos regionais (REIS *et al* 1997).

Diferentemente de outras variáveis hidrometeorológicas, onde uma boa cobertura de pontos de medição pode fornecer boas estimativas espacializadas, na regionalização da variável “vazão”, a simples interpolação espacial não fornece bons resultados, pois esta variável está sujeita a diversas variáveis explicativas como, a área, a escala, a precipitação, dentre outras. O estabelecimento da regionalização da vazão pressupõe a correlação entre a variável dependente “vazão” e as variáveis independentes ou explicativas do processo de escoamento fluvial, relacionadas à morfologia da bacia, ao clima, ao relevo, aos solos, à cobertura vegetal e à geologia. A variabilidade espacial da vazão e das suas estatísticas é, portanto, dependente de todo esse conjunto de fatores físicos e fisiográficos que caracteriza uma dada bacia hidrográfica. Apesar da afirmativa, pode-se observar certa preponderância de alguns fatores sobre outros na relação funcional com os processos relacionados com o regime de vazão de uma bacia hidrográfica. Assim, preponderantemente, as condições climáticas caracterizam o escoamento médio, as condições de relevo, solo e cobertura vegetal definem a infiltração e o escoamento superficial, enquanto, a geologia controla o escoamento subterrâneo e o comportamento das vazões de estiagem. Por conseqüência, quanto maior for a significância da variável independente em explicar o comportamento da variável dependente “vazão”, melhores e mais consistentes serão os resultados apresentados pelas correlações (TUCCI, 2002).

Neste sentido, a maioria dos métodos de regionalização busca identificar relações de correlação entre as variáveis envolvidas de forma simples e empírica (TUCCI, 2002). Vorst *et al.* (1981), citado por Tucci *et al.* (2004), após estudarem uma série de relações de correlação na regionalização da vazão média e escoamento total, identificaram apenas três variáveis físicas significativas relacionadas à morfologia da bacia hidrográfica, a saber: o comprimento e declividade do curso fluvial principal e a área de drenagem da bacia. A área da bacia tem influencia direta nos volumes médios e totais escoados, enquanto, o comprimento e a declividade do curso d'água condicionam o comportamento do hidrograma. Entretanto, como observaram Tucci *et al.* (2001) os valores da área de drenagem, normalmente, apresentam elevadas correlações com o comprimento e a declividade do curso fluvial principal. Sendo assim, em estudos de correlação de variáveis físicas com as variáveis hidrológicas, apenas a área de drenagem da bacia tem sido efetivamente utilizada (PILGRIM, 1983; *apud* TUCCI 2002). A condição de prevalência que a variável “área de drenagem” exerce no condicionamento dos padrões de vazão das bacias de uma mesma região é tanto maior quanto mais uniforme for o clima regional. Nas regiões onde se observa grandes

gradientes de precipitação, a precipitação anual também exerce, juntamente com a área de drenagem, grande influencia no comportamento das vazões médias (TUCCI 2002).

Considerando o exposto, para a regionalização da vazão específica adotou-se um modelo baseado na proposição de zonas hidrológicas homogêneas (ZHH) estabelecidas a partir da interseção de um modelo de distribuição da precipitação com a divisão hidrográfica regional, observando-se a proporcionalidade das áreas e similaridade das variáveis fisiográficas das bacias hidrográficas.

Dependendo dos propósitos do estudo ou projeto de gerenciamento dos recursos hídricos para os quais se pretende aplicar a regionalização, diferentes variáveis e estatísticas da vazão podem ser empregadas. São escolhidas, geralmente, variáveis adequadas à resolução de algum problema afeito ao gerenciamento dos recursos hídricos. A vazão média, por exemplo, caracteriza o balanço de longo período. A vazão máxima determina as condições de escoamento superficial e os processos de inundação. A vazão mínima, por sua vez, caracteriza as condições do aquífero e a capacidade de regularização natural da bacia hidrográfica (TUCCI 2002).

Como salientaram Reis et al (1997), uma alternativa atraente para a estimativa e regionalização das vazões tem sido a utilização de indicadores hidrológicos regionais, que constituem valores médios ou proporções entre variáveis hidrológicas característicos de uma região com comportamento hidrológico homogêneo. Assim, são empregados para se estimar e regionalizar a variável desejada. Diversos indicadores têm sido estudados e aplicados para caracterizar o regime de escoamento regional, permitindo assim a regionalização da variável “vazão” e suas estatísticas (REIS *et al*, 1997; AGRA *et al*, 2005; CLARKE ET TUCCI, 2003; TUCCI 2002). Dentre os diferentes indicadores hidrológicos regionais utilizados para a estimativa e regionalização da vazão, conforme Reis *et al*. (1997), recorrentemente, o índice “vazão específica” tem sido o mais empregado.

Baseado na suposição da manutenção da proporcionalidade linear entre as áreas e as vazões, o índice “vazão específica” é definido pela razão entre a vazão e a área de drenagem da bacia. De maneira bastante simples, para se obter a estimativa da vazão de um local sem dados, toma-se a vazão específica calculada com dados medidos do local mais próximo e/ou representativo e multiplica-se pela a área do local a ser estimado. A vazão específica de longo termo constitui, segundo TUCCI (2002), um índice, consideravelmente, estável para conjuntos de estações de medição fluviométrica com áreas de contribuição sem grandes variações. A transferência de informações entre bacias hidrográficas com áreas muito diferentes pode, por efeito de escala, induzir a resultados imprecisos, visto que a relação entre

a vazão e a área pode deixar de ser linear, limitando o emprego do índice da vazão específica como método de regionalização (TUCCI, 2002).

Considerando-se que as principais variáveis explicativas para o comportamento médio das vazões são a área de drenagem e a precipitação, o índice de vazão específica média de longo período apresenta pequena variação em regiões onde as isoietas de precipitação apresentam pequeno gradiente espacial. Segundo TUCCI (2002) o erro não é muito significativo quando os valores de variação de precipitação se situam na faixa de 10%.

A vazão específica média de longo termo é dada por:

$$q_{mlt} = Q_{mlt}/A \quad (94)$$

Onde,

q_{mlt} é a vazão específica média de longo termo em $l.s^{-1}.km^{-2}$;

Q_{mlt} é a vazão média de longo termo em $m^3.s^{-1}$ e

A é a área da bacia em km^2 .

A vazão média de longo termo (Q_{mlt}) é um estimador da produção média de água de uma bacia hidrográfica não sendo, portanto, adequado para a estimativa da quantidade de água efetivamente disponível ao longo do ano para alocações diretas dos canais fluviais. Por esta razão foi estimada também a vazão específica com 95% de permanência, conforme a expressão a seguir:

$$q_{95} = Q_{95}/A \quad (95)$$

Onde,

q_{95} é a vazão específica com 95% de permanência em $l.s^{-1}.km^{-2}$;

Q_{95} é a vazão com 95% de permanência em $m^3.s^{-1}$ e

A é a área da bacia em km^2 .

Posteriormente, será explicado como as vazões específicas: (i) *vazão específica média de longo termo* e; (ii) *vazão específica com 95% de permanência* – foram utilizadas para a estimativa da disponibilidade hídrica total para a determinação dos indicadores em questão.

Primeiramente, para o cálculo das referidas vazões específicas foram obtidos os dados de vazão das séries hidrológicas e as respectivas áreas de contribuição das seções de controle de 46 estações fluviométricas coordenadas pela Agência Nacional de Águas - ANA do Ministério do Meio Ambiente. Os dados foram adquiridos por meio de solicitação direta junto a ANA e através de consulta e *download* das bases de dados disponibilizadas pela mesma agência através do Sistema de Informações Hidrológicas - *HidroWeb* (<http://hidroweb.ana.gov.br>). A Figura 30 apresenta um mapa com a distribuição espacial das

estações fluviométricas utilizadas neste estudo. A lista completa com a descrição das estações fluviométricas pode ser encontrada nos ANEXOS H e I.

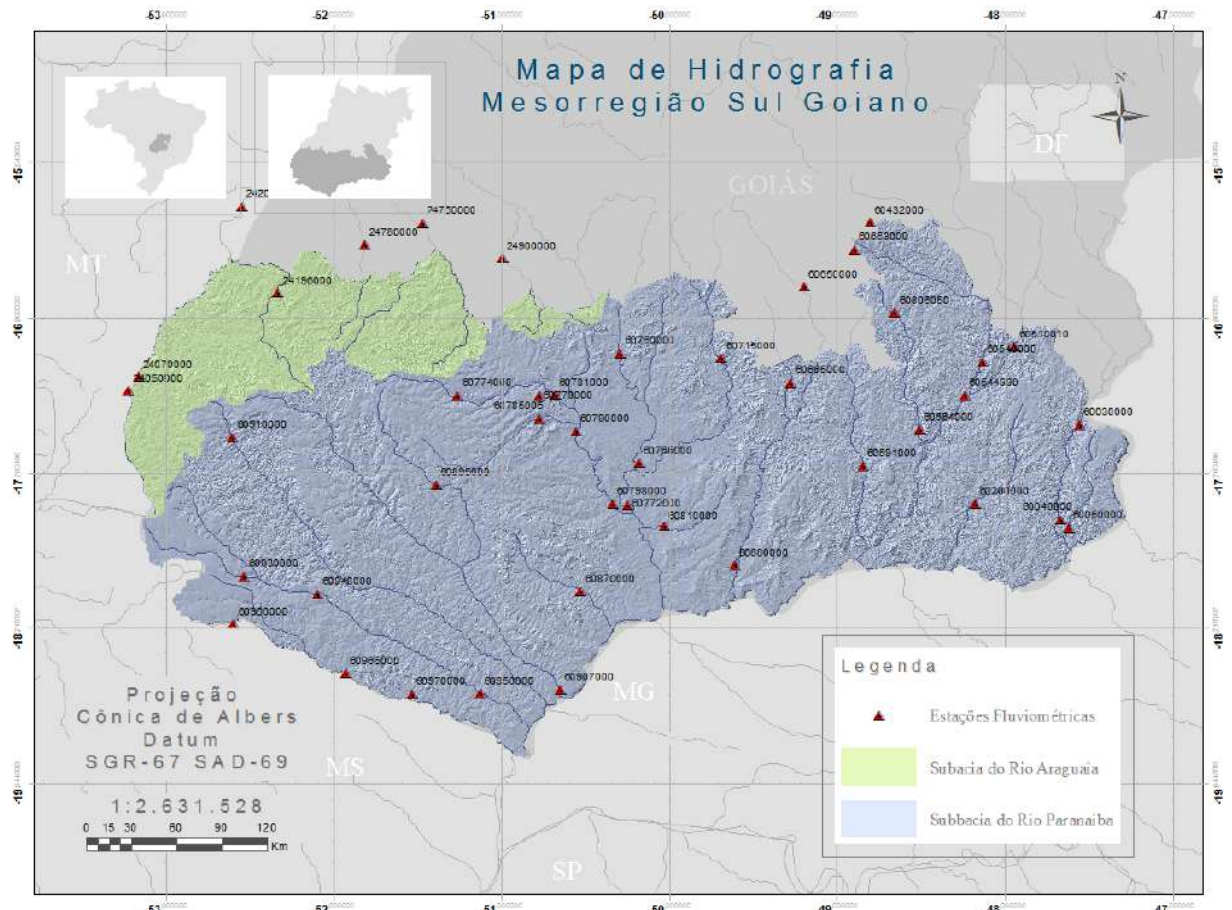


Figura 30 - Mapa da hidrografia da Mesorregião Sul Goiano com a distribuição espacial das estações fluviométricas utilizadas no estudo de caso dos focos de expansão da cultura canavieira na Mesorregião Sul Goiano - GO. Fonte: ANA

De acordo com TUCCI (2001), os dados das séries históricas provenientes das estações fluviométricas, normalmente, apresentam falhas de registro ou ausência de informação devido a problemas de diversas naturezas, tornando as séries impróprias para uso imediato. Desta forma, por meio do programa computacional SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas - desenvolvido pela Universidade de Federal de Viçosa (SOUSA, 2007), foram realizados o preenchimento das falhas e a extensão das séries históricas de vazão através da análise de regressão linear simples (BERTONI e TUCCI, 2007).

Para a escolha de bases para as regressões foram considerados os seguintes critérios. Os dados observados no período comum entre a estação a ser consistida, preenchida ou estendida e a estação de apoio foram, preferencialmente, do mesmo curso d'água, estação

mais próxima, e quando esta condição não pôde ser atendida aplicou-se o princípio da semelhança hidrológica entre as bacias hidrográficas em comparação. Tendo sempre como critério decisório os coeficientes de correlação, adotou-se para a aplicação do método o valor mínimo de $R^2 = 0,7$ e a existência de pelos menos oito pares de eventos entre as estações para a realização da regressão (BERTONI e TUCCI, 2007)

A regressão linear simples é dada pela seguinte expressão:

$$y = \beta_0 x + \beta_1 \quad (96)$$

Onde:

y = vazão do posto com falhas;

x = vazão do posto com dados; e

β_0 e β_1 = parâmetros ajustados na regressão.

Uma vez tendo obtido as séries de vazão preenchidas e estendidas utilizou-se somente períodos com dados anuais completos com tolerância máxima de 10% de falhas diárias por mês. Com o auxílio do mesmo programa computacional (SisCAH 1.0) foram calculadas as vazões médias de longo termo (Qmlt) e as vazões com 95% de permanência (Q95), ambas em $m^3 s^{-1}$. Em seguida esses dados foram exportados para uma planilha Excel e após a divisão pela área de contribuição referente a cada seção de controle fluviométrico obteve-se as vazões específicas médias de longo termo (qmlt) e as vazões específicas com 95% permanência (q95), ambas em $l.s^{-1}km^{-2}$. Os dados das 46 estações fluviométricas foram, portanto, utilizados para o cálculo das vazões explicitadas, extensão de séries e correlações para a análise de consistência.

Para gerar o modelo espacializado de vazões específicas médias de longo período (qmlt) e de vazão específica com 95% de permanência (q95), os referidos índices foram regionalizados considerando-se zonas hidrológicas homogêneas baseadas na divisão das bacias hidrográficas com seus atributos naturais e na variação e distribuição espacial da precipitação pluviométrica.

As zonas hidrológicas homogêneas (Figura 20) foram obtidas a partir do cruzamento da carta hidrográfica, ajustada, de Ottobacias nº 5 adotada pela ANA (Figura 19 B) com um modelo adaptado (utilizou-se apenas as 03 principais faixas de precipitação) do modelo de distribuição espacial da precipitação pluviométrica média anual, elaborado para todo o Estado de Goiás por Evangelista (EVANGELISTA, 2011) que se encontra cartografado na figura 31 A.

A carta de Ottobacias n° 5 foi ajustada e simplificada por meio da união de algumas sub-bacias similares ou subsidiárias, tendo como fundamento a proporcionalidade das áreas e certa uniformidade dos modelados geomorfológicos e a distribuição dos solos (Figura 31 B).

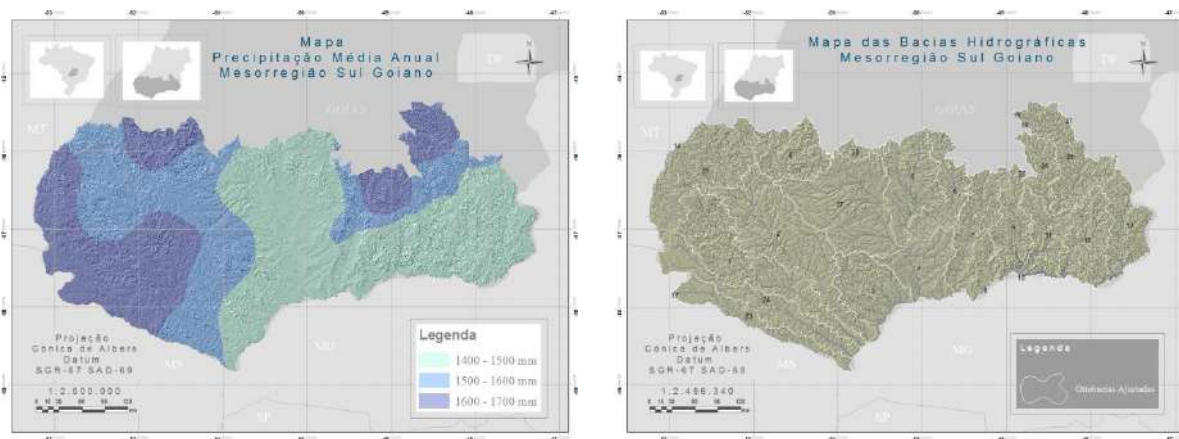


Figura 31 - Mapas: (A) Precipitação média anual; (B) Modelo de bacias hidrográficas. Fonte. (A) Adaptado do modelo espacializado da precipitação média anual, elaborado por Evangelista (2011); (B) Adaptado do sistema de Ottobacias n° 5 adotado pela ANA

Deste modo, mantendo-se a lógica da estrutura das bacias hidrográficas obtiveram-se zonas com comportamento pluviométrico uniforme e, relativamente, homogêneas do ponto de vista fisiográfico as quais foram atribuídos os valores de vazão específica (q_{mlt}). Quando obtidos em pontos circunscritos nas zonas hidrológicas, os valores de vazão específica foram a estas, diretamente, relacionados. Para as zonas com ausência de pontos de medição foram atribuídos valores regionalizados da vazão específica (q_{mlt}) transportada de outros pontos com base na similaridade entre as zonas relacionadas. Por fim, foi obtida uma carta da distribuição espacial das vazões específicas para a região de interesse que serviu de base para as estimativas da oferta hídrica das *Unidades Territoriais de Análise* adotadas no estudo.

A figura 32 apresenta o mapa das Zonas Hidrológicas Homogêneas utilizadas para a geração do modelo de regionalização de vazões específicas utilizadas para se estimar o potencial de produção ou oferta de água na Mesoregião Sul Goiano em avaliação.

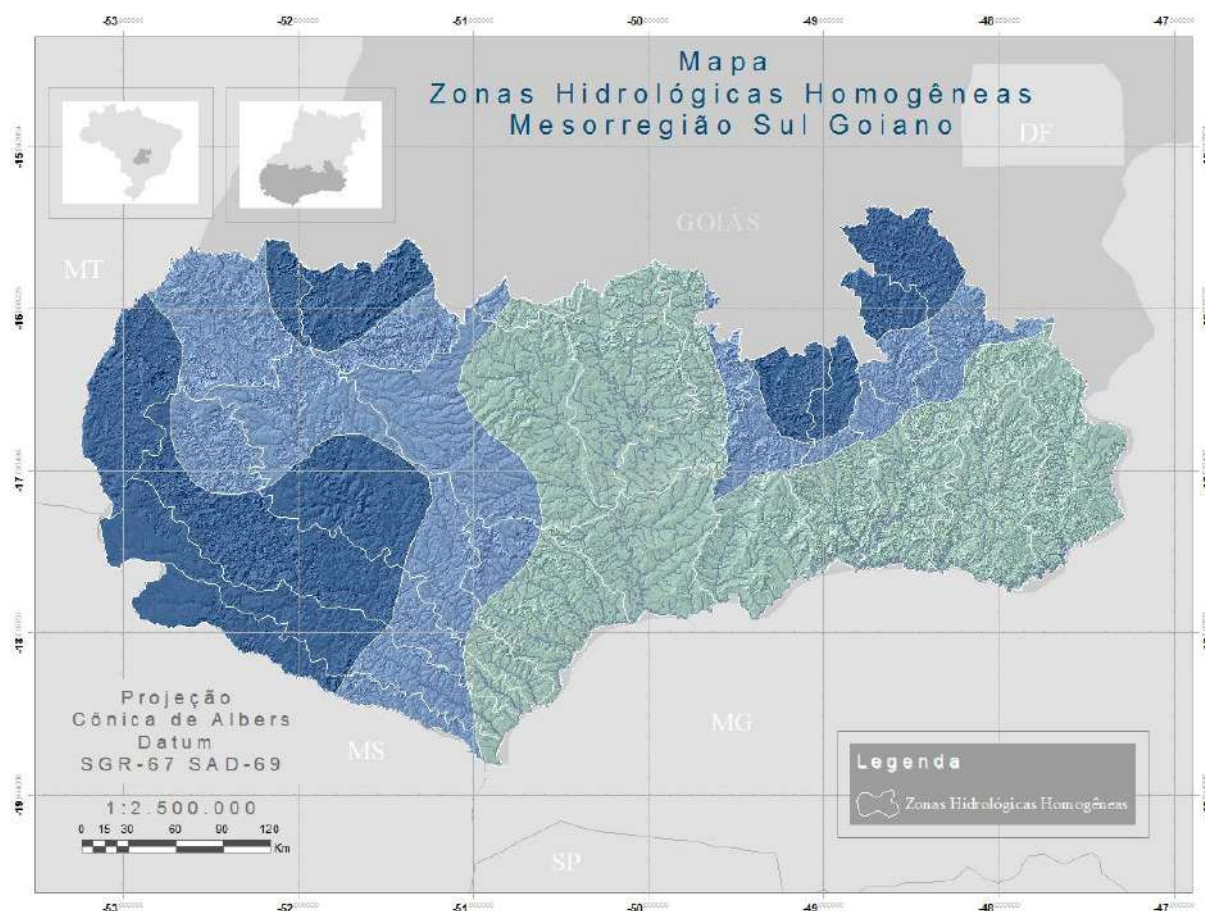


Figura 32 - Mapa das zonas hidrológicas homogêneas utilizadas para a elaboração do modelo de regionalização de vazões específicas para a Mesorregião Sul Goiano - GO.

Após a elaboração do modelo espacial de vazões específicas que descreve a variação espacial do índice hidrológico *vazão específica* determinado para as vazões características: (i) vazão média de longo termo (Q_{mlt}); (ii) e vazão com 95% de permanência (Q_{95}), os procedimentos para o cálculo da disponibilidade hídrica geral foram os seguintes:

- Estimou-se a produção de água disponível para a alocação direta do canal fluvial a partir do cálculo do volume total produzido durante um período anual (12 meses) com base na metade da Q_{95} ($\frac{1}{2} Q_{95}$ foi considerada como vazão remanescente) que representa a vazão disponível em 95% do tempo do ciclo hidrológico;
- Estimou-se a produção de água capaz de ser reservada por acumulação prévia em reservatórios ou barramentos a partir do cálculo do volume produzido durante um período semestral (6 meses) com base na diferença entre a vazão Q_{mlt} e a Q_{95} que representa o volume excedente produzido durante o período de ascensão do ciclo hidrológico;

- Estimou-se a disponibilidade hídrica geral a partir da soma algébrica dos volumes hídricos produzidos anteriormente explicitados.

A expressão matemática utilizada para o cálculo da disponibilidade hídrica geral é apresentada a seguir:

Substituindo-se os parâmetros adotados nas expressões apresentadas no item 7.1.5.1.5

Determinação do indicador ICDH- passo 3

$$DiH_G = (DiH_A + DiH_R) / 1000 \quad (64)$$

$$DiH_G = \{ [(DiH_A \cdot P_1) + (DiH_R \cdot P_2)] \cdot S_{UTA} \} / 1000 \quad (65)$$

Foi utilizada a seguinte expressão:

$$DiH_G = \{ [(q_{95} - \frac{1}{2} q_{95}) 3153.000] + [(q_{mlt} - q_{95}) 1576000] S_{UTA} \} / 1000 \quad (97)$$

Onde,

DiH_G = Disponibilidade hídrica geral (m^3);

DiH_A = Disponibilidade hídrica alocável ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

DiH_R = Disponibilidade hídrica regularizável ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

q_{95} = Vazão específica com 95% de permanência ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

q_{mlt} = Vazão específica média de longo termo ($l.s^{-1}.km^{-2}$);

$\frac{1}{2} q_{95}$ = Vazão específica remanescente dada por uma fração da vazão específica com 95% de permanência ($l.s^{-1}.km^{-2}$).

P_1 = Período de produção de água anual no qual se pode contar com a alocação (95% dos 365 dias anuais \approx 346 dias) (s). OBS: No caso foi utilizado o período anual completo 365 dias;

P_2 = Período de produção de água anual no qual se pode reservar os excedentes hídricos (6 meses \approx 183 dias) (s).

S_{UTA} = Área da Unidade Territorial de Análise (Km^2)

Cabe salientar que a maneira proposta para se estimar a disponibilidade hídrica geral (DiH_G) de uma determinada *Unidade Territorial de Análise* considera os volumes hídricos diretamente alocáveis produzidos durante o ciclo anual hidrológico que permanece 95% descontado da vazão remanescente mais os volumes hídricos passíveis de serem reservados por acumulação durante a estação de cheia que dura aproximadamente seis meses. Apesar das vazões Q_{mlt} e Q_{95} constituírem estimadores dos caudais de superfície, esta última, por tratar-se de uma vazão característica do regime de recessão do ciclo hidrológico, em parte, também se relaciona com a descarga dos aquíferos subterrâneos. Sendo, portanto, também um estimador do potencial de água produzida pelos aquíferos freáticos do sistema em avaliação. A disponibilidade hídrica, assim proposta, visa avaliar o potencial hídrico da unidade territorial em apreço, estimando a sua produção total de água. Independentemente do modo com que os recursos hídricos serão apropriados a estimativa da disponibilidade hídrica geral

tenta avaliar a produção total de água disponível para o desenvolvimento da cultura canavieira.

As Figuras 33 e 34 apresentam os modelos: (i) Vazão Específica média de longo termo e; (ii) Vazão Específica com 95% de permanência, respectivamente.

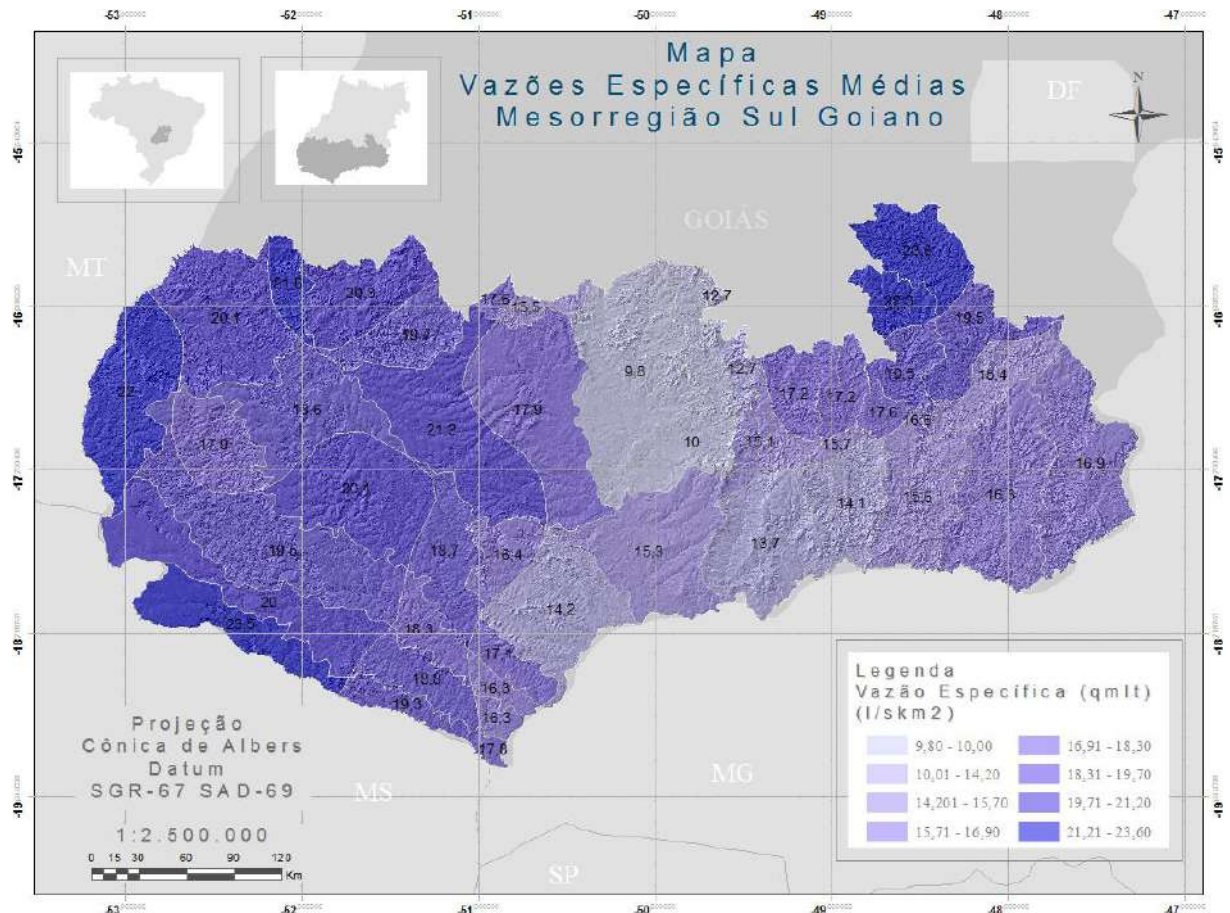


Figura 33 - Mapa das Vazões específicas médias de longo termo (qmlt) para a Mesorregião Sul Goiano - GO

Cumprе esclarecer que nos procedimentos de cálculo da *disponibilidade hídrica geral* de cada *Unidade Territorial de Análise*, anteriormente descrito, adotou-se a própria área da UTA como critério para estabelecer a área de contribuição para a produção de água das mesmas. Isto porque, se faz necessário estabelecer um método e/ou critérios para se estimar a áreas de contribuição que definem a produção total de água nas unidades territoriais de análise adotadas. Esta questão introduz uma dificuldade intrínseca quando se considera a diferença de lógica entre unidades espaciais díspares, como as *Zonas Hidrológicas* que são unidades fisiográficas da paisagem e as *Unidades Político-administrativas*, como os municípios, adotados no presente caso como unidades territoriais de análise. Ou seja, se considerou as

áreas territoriais dos municipais. Entretanto, cabe esclarecer que, conforme a posição geográfica que um determinado município ocupa em uma dada bacia hidrográfica, independentemente de sua área, pode receber vazões fluviais pontuais, significativamente, contrastantes em relação aos outros municípios que compartilham a mesma bacia.

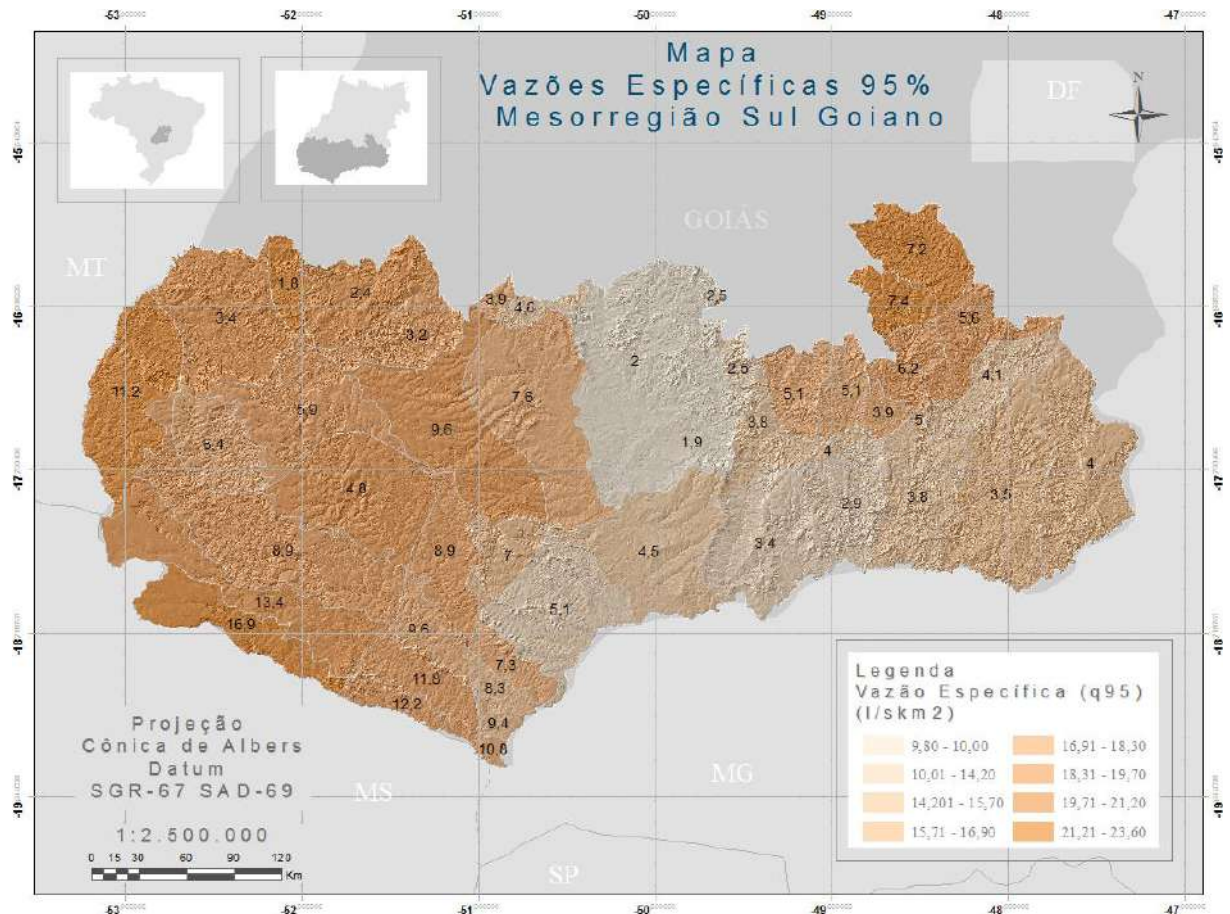


Figura 34 - Mapa das Vazões específicas com 95% de permanência (q95) para a Mesorregião Sul Goiano - G

Sobretudo, se forem consideradas as vazões da rede fluvial principal (1ª ordem). Entretanto, no caso imediato, se está considerando que a captação de água dos mananciais de superfície e dos aquíferos subterrâneos seria feita de modo distribuído nos espaços territoriais dos municípios no nível de sub-bacias nestes circunscritas. Portanto, o que se busca é a estimativa da produção ou oferta hídrica média da Unidade Territorial de Análise. E, tendo em vista que o objetivo consiste na derivação de indicadores orientados ao nível estratégico de planejamento, considerou-se satisfatório que a própria área do município possa servir em primeira aproximação da área de contribuição e parâmetro intermediário para a estimativa da

produção e oferta de água nas *Unidades Territoriais de Análise* consideradas. Assim sendo, para a estimativa da disponibilidade hídrica de cada município, se adotou os seguintes critérios:

- Para os municípios totalmente inseridos em uma única zona hidrológica, estimou-se a sua oferta hídrica (m^3s^{-1}) através da multiplicação da vazão específica desta ($\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$) pela área total do município (km^2), com as devidas correções de unidade.
- Para os municípios inseridos em mais de uma zona hidrológica, adotou-se o procedimento de se aplicar uma média ponderada das vazões específicas de cada zona hidrológica integrante, considerando como peso para a ponderação as áreas de interseção do município com as mesmas.

A Figura 35 apresenta o exemplo do Município de Quirinópolis que se encontra circunscrito em três *Zonas Hidrológicas Homogêneas* com vazões específicas médias de longo termo distintas.

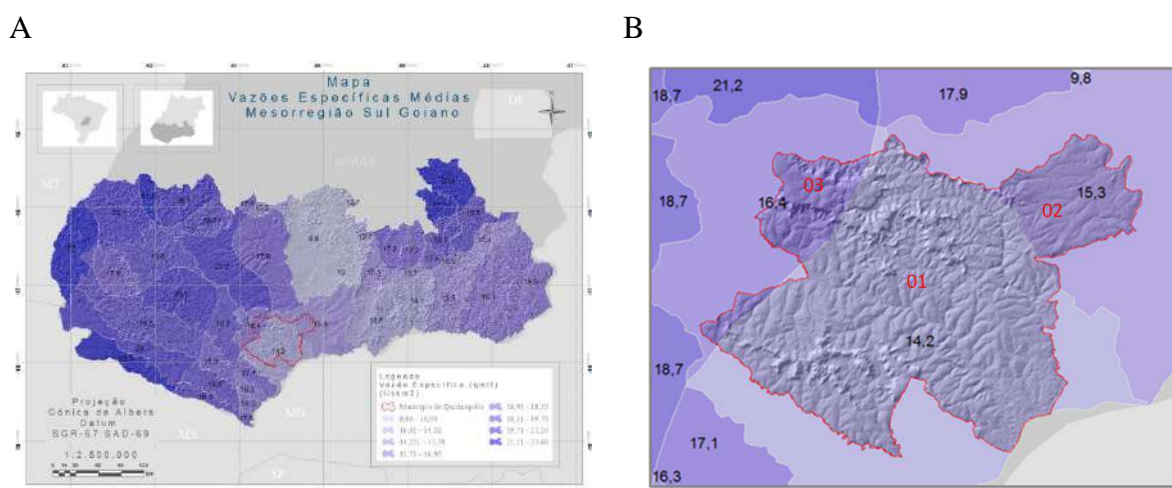


Figura 35 - (A) Mapa das Zonas Hidrológicas com as respectivas vazões específicas (qmlt) e o Município de Quirinópolis destacado em vermelho; (B) Figura do Município de Quirinópolis em destaque circunscrito em três Zonas Hidrológicas distintas constituindo subáreas (01, 02 e 03) com diferentes vazões específicas médias de longo termo.

A tabela 6 apresenta um exemplo do cálculo da média ponderada das vazões específicas: (i) Vazão específica média de longo termo e; (ii) Vazão específica com 95% de permanência; para o Município de Quirinópolis.

A título de exemplo é para tornar mais claro os procedimentos de cálculo a tabela 7 apresenta parte da planilha de cálculo (Excel) utilizada para calcular a *Disponibilidade Hídrica Geral* dos municípios das microrregiões estudadas, destacando-se os dados do Município de Quirinópolis. Nos Anexos J , K, L, M encontram-se os valores tabelados

calculados para todos os municípios das quatro microrregiões: *Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois; Quirinópolis e Meia Ponte.*

Tabela 6 - Cálculo da média ponderada das vazões específicas: (i) Vazão específica média de longo termo e; (ii) Vazão específica com 95% de permanência; para o Município de Quirinópolis

SUBÁREA		VAZÕES ESPECÍFICAS		VAZÕES		VAZÕES ESPECÍFICAS PONDERADAS	
Cod	Área (km ²)	(l.s ⁻¹ km ⁻²)		(l.s ⁻¹)		(l.s ⁻¹ km ⁻²)	
	S _{UTA}	qmlt	q95%	qmlt. S _{UTA}	q95%. S _{UTA}	qmlt	q95%
01	2.870,38	14,2	5,1	40.759,46	14.503,65	-	-
02	530,69	15,3	4,5	8.119,49	2.383,22	-	-
03	389,10	16,4	7,0	6.381,25	2.715,47	-	-
Totais	3.790,17			55.260,19	19.602,35	14,6	5,2

Nota: As subáreas 01, 02 e 03 correspondem às subáreas representadas no mapa da figura 35

Tabela 7 - Procedimento para calcular a Disponibilidade Hídrica Geral dos municípios estudados, constando os dados do Município de Quirinópolis

VAZÕES ESPECÍFICAS (l.s ⁻¹ km ⁻²)				
Média	Permanência	Regularização	Alocação	Remanescente
qmlt*	q95%*	qmlt - q95%	½ q95%	½ q95%
14,6	5,2	9,41	2,59	2,59
ÁREA (km ²)	VAZÕES (l.s ⁻¹)		PERÍODOS (s)	
UTA	Regularização	Alocação	Regularização	Alocação
S _{UTA}	(qmlt - q95%) S _{UTA}	(½ q95%) S _{UTA}	(P1) 6 meses	(P2) 12 meses
3.780,173	35.563,79	9.775,32	15.552.000	31.104.000
VOLUMES HÍDRICOS DISPONÍVEIS (m ³)				
Regularização		Alocação	Disponibilidade Hídrica Geral	
(qmlt - q95%) P1/1000		(½ q95%) P2/1000	(qmlt - q95%) P1+ (½ q95%) P2/1000	
553.088.071,71		304.051.600,77	857.139.672,47	

Nota: * As vazões específicas qmlt e q95% foram obtidas pela média ponderada pelas as áreas interceptadas em cada Zona Hidrológica Homogênea.

Para a estimativa da demanda hídrica da atividade canavieira cabe considerar duas situações distintas, a estimativa da demanda hídrica para a condução da atividade canavieira

em sistemas de irrigação e em sistema de sequeiro. No primeiro caso, se faz necessário estimar a demanda de água gasta para a prática da irrigação extensiva a área de irrigação compulsória e para o processamento industrial da produção potencial da cana-de-açúcar. No segundo, sob condição de sequeiro, somente a estimativa para o processamento industrial da produção potencial da cultura canavieira será considerado. Para a estimativa da demanda hídrica foram utilizadas as lâminas de irrigação (mm) necessárias para atender o déficit hídrico da cultura da cana-de-açúcar na região de interesse estimadas através de um modelo espacial da disponibilidade hídrica climática realizado, pelo método do balanço hídrico climático Thornthwaite *et al.* (1955), por Silva *et al.* (2008).

A estimativa da Demanda Hídrica Total (volume a ser captado) da atividade canavieira sob regime de irrigação compulsória fundamentou-se nos seguintes passos:

- Determinação do regime de irrigação e estimativa da lâmina de irrigação necessária para atender o déficit hídrico: Utilizou-se a lâmina de 80mm para a irrigação suplementar estimada por meio do modelo elaborado por Silva *et al.* (2008);
- Cálculo do volume total necessário para a irrigação (necessidade da cultura) da área potencial para o cultivo da cultura da cana-de-açúcar sob regime de irrigação, calculado pela lâmina de irrigação de 80mm multiplicado pela a área potencial de irrigação (Área de irrigação compulsória);
- Determinação do volume hídrico a ser efetivamente utilizado para a prática da irrigação suplementar, considerando: (i) o volume hídrico total relativo à necessidade de água da cultura calculado pela lâmina de irrigação de 80mm multiplicado pela a área potencial de irrigação; (ii) a eficiência de 80% (perda de 20%) da aplicação de água na irrigação. Multiplicou-se, portanto, o volume de hídrico de irrigação (necessidade da cultura) pelo fator 1,25; (iii) o reaproveitamento das águas residuárias da agroindústria sucroalcooleira ($88 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e da produção de vinhaça ($81,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), totalizando $169,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a ser descontado da captação total de água para a irrigação, de acordo com os dados e estimativas de Ebeling (1983) e Zarpelon (1978);
- Determinação do consumo de água para o processamento industrial da produção potencial da cana-de-açúcar. Utilizou-se a relação de $5,6 \text{ m}^3$ por tonelada de cana processada com uma produtividade média da ordem de 80 t ha^{-1} de acordo com os dados da eficiência média do processamento da indústria sucroalcooleira estimados por Ebeling (1983) e Zarpelon (1978).

A expressão matemática utilizada para o cálculo da disponibilidade hídrica geral é apresentada a seguir:

Substituindo-se os parâmetros adotados nas expressões apresentadas no item: 7.1.5.1.5
Determinação do indicador ICDH -2ª passo (pag 180).

$$\text{DeH}_{SI} = \text{DeH}_{IC} + \text{DeH}_{PI} \quad (55)$$

$$\text{DeH}_{IC} = (10 \lambda \cdot S_{IC}) F_E \quad (56)$$

$$\text{DeH}_{PI} = V_{AG} \cdot P_{MC} \cdot S_F \quad (54)$$

Foi utilizada a seguinte expressão:

$$\text{DeH}_I = [(800S_{IC}) 1.25] + (448S_F) \quad (98)$$

Onde,

DeH_{SI} : Demanda hídrica da Atividade canavieira em sistema de irrigação (m^3)

DeH_{IC} : Demanda hídrica para a irrigação da cultura canavieira (m^3)

DeH_{PI} : Demanda hídrica para o processamento industrial da produção da cultura canavieira (m^3)

S_{IC} = Área de irrigação compulsória (ha);

λ = Lâmina de irrigação (mm);

10: fator de transformação da lâmina “ λ ” em mm pra $m^3 \cdot ha^{-1}$;

F_E : Fator de eficiência (adimensional)

V_{AG} = Volume de água gasta por massa de cana produzida ($m^3 \cdot t^{-1}$);

P_{MC} : Produtividade média da cultura da cana-de-açúcar ($t \cdot ha^{-1}$);

S_F : Área favorável para a cultura canavieira na UTA (ha).

A tabela 8 apresenta um exemplo mostrando parte da planilha de cálculo (Excel) utilizada para calcular a *Demanda Hídrica* potencial da atividade canavieira nos municípios das microrregiões estudadas, destacando-se os dados do Município de Quirinópolis. Nos Anexos N,O,P,Q encontra-se as tabelas com os valores calculados para todos os municípios das quatro microrregiões: *Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois; Quirinópolis e Meia Ponte.*

Tabela 8 - Procedimento para calcular a Demanda Hídrica Total da atividade canavieira nos municípios estudados, constando os dados do Município de Quirinópolis

DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA CANAVIEIRA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO (SI)			
Favorabilidade para o SI		Demanda Hídrica (Cultura)	
$Sic = 1/x \cdot S_{UTA}$ (ha)		$DeHc = 10 \lambda \cdot Sic$ (m ³)	
S_{UTA} (ha)	Sic (ha)	λ (mm)	$DeHc$ (m ³)
378.017,30	286.852,14	80	229,5 x10 ⁶
Rendimento/eficiência da prática da irrigação		Demanda Hídrica (Irrigação)	
Percentual (%)	F_E (Fator)	$DeHi = 1,25 DeHc$ (m ³)	
80%	1,25	286,8 x10 ⁶	
REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA DO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL PARA A PRÁTICA DA IRRIGAÇÃO			
Águas residuárias produzidas (m ³)		Vinhaça produzida (m ³)	
$V_{RTOTAL} = P_{MR} \cdot P_{MC} \cdot Sic$		$V_{VTOTAL} = P_{MV} \cdot P_{MC} \cdot Sic$	
P_{MR}	P_{MC}	V_R/ha	V_{RTOTAL}
$m^3 t^{-1} cana$	$t cana \cdot ha^{-1}$	$m^3 ha^{-1}$	m^3
4,5	80	234	67,1x10 ⁶
Volume total economizado		Demanda Hídrica (captação)	
$V_{ETOTAL} = V_{RTOTAL} + V_{VTOTAL}$		$DeH_{IC} = DeHi - V_{ETOTAL}$	
90,5 x10 ⁶		196,3 x10 ⁶	
DEMANDA HÍDRICA DO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR			
$DeH_{PI} = V_{AG} \cdot P_{MC} \cdot S_F$			
V_{AG} (m ³ t ⁻¹)	P_{MC} (t cana ha ⁻¹)	S_F (ha)	DeH_{PI}
5,6	80	286.852,14	128,6 x10 ⁶
DEMANDA HÍDRICA TOTAL DA ATIVIDADE CANAVIEIRA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO			
$DeH_{SI} = DeH_{IC} + DeH_{PI}$			
DeH_{IC} (m ³)	DeH_{PI} (m ³)	DeH_{SI} (m ³)	
196,3 x10 ⁶	128,6 x10 ⁶	324,9 x10 ⁶	

A Figura 36 apresenta um esquema geral da metodologia para a determinação dos indicadores de ICDHs, IAMEs, ICDHi, IAMEi

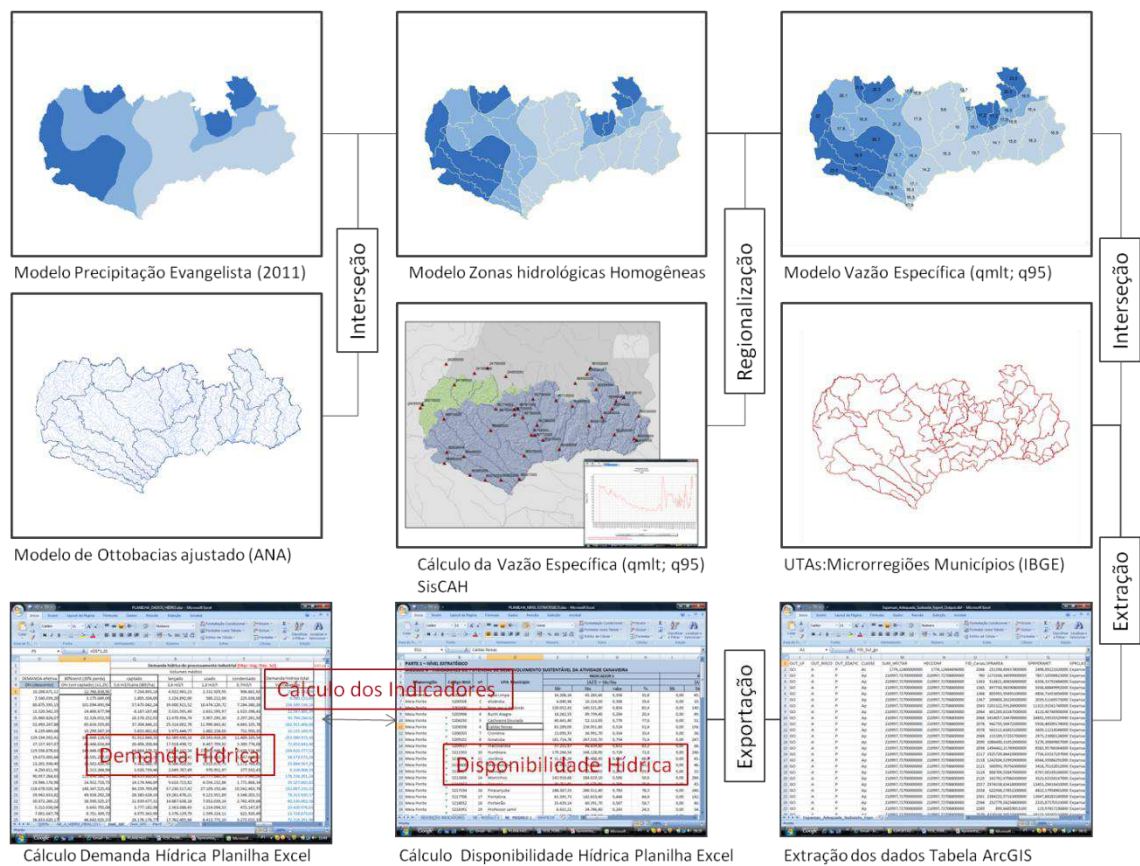


Figura 36 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração modelo de vazão específica, extração e cálculo dos indicadores de sustentabilidade hídrica (ICDHs, IAMEs, ICDHi, IAMEi).

8.5.1.3.3 Procedimento metodológico 3

O procedimento metodológico 3 diz respeito à determinação do indicador *Índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos* pertencente a Categoria 3 e descrito do item 7.1.3.1 (pg 140), integrando o 3º Grupo de Indicadores da Parte 1 do Módulo A do SISH-Cana .

O indicador sinaliza a proporção de ocorrência de áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos por efluentes da agroindústria sucroalcooleira em relação à área total da Unidade Territorial de Análise. O Quadro 27 apresenta o Indicador com a respectiva fórmula matemática.

Quadro 26 - Indicador: Índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos e respectiva fórmula matemática

GRUPO 3 DO MÓDULO A DO NÍVEL ESTRATÉGICO DO SISH-CANA	
INDICADOR	FÓRMULA
IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos	$IVCH = S_{VP}/S_{UTA}$

Nota: (i) S_{VP} = Área de vulnerabilidade hídrica ponderada; (iii) S_{UTA} = Área da Unidade Territorial de Análise (UTA).

A determinação do indicador IVCH - *Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos* - se baseia na estimativa de ocorrência relativa de áreas consideradas vulneráveis à contaminação dos corpos hídricos por efluentes da agroindústria sucroalcooleira a partir de um modelo espacialmente distribuído descrito por Gomes, Spadotto e Pessoa (2002), que propuseram um método de avaliação da vulnerabilidade natural dos solos quanto à movimentação de agroquímicos e risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais.

No presente estudo de caso utilizou-se um modelo elaborado por Barbalho e Campos (2010) que consistiu em uma adaptação do modelo proposto por Gomes, Spadotto e Pessoa (2002) e foi publicado no trabalho intitulado: *Vulnerabilidade Natural dos Solos e Águas do Estado de Goiás à Contaminação por Vinhaça Utilizada na Fertirrigação da Cultura da Cana-de-açúcar*.

A figura 37 apresenta o mapa de Vulnerabilidade à Contaminação dos mananciais Hídricos da Mesorregião Sul Goiano – GO (Adaptado de Barbalho e Campos, 2010)

Basicamente o modelo consiste na geração de classes de vulnerabilidade à contaminação por vinhaça a partir da integração do potencial de infiltração e o potencial de escoamento superficial da água que, por sua vez, são definidos pela integração dos parâmetros de condutividade hidráulica dos solos e declividade do terreno. A metodologia segue as seguintes etapas: (i) Avaliação do potencial de infiltração a partir da Integração da declividade e a condutividade hidráulica; (ii) Avaliação do potencial de escoamento superficial o a partir da Integração da declividade e a condutividade hidráulica; (iii) Classificação da vulnerabilidade das terras à contaminação por vinhaça em razão da integração dos potenciais de infiltração e de escoamento superficial da água, declividade e condutividade hidráulica Barbalho e Campos (2010).

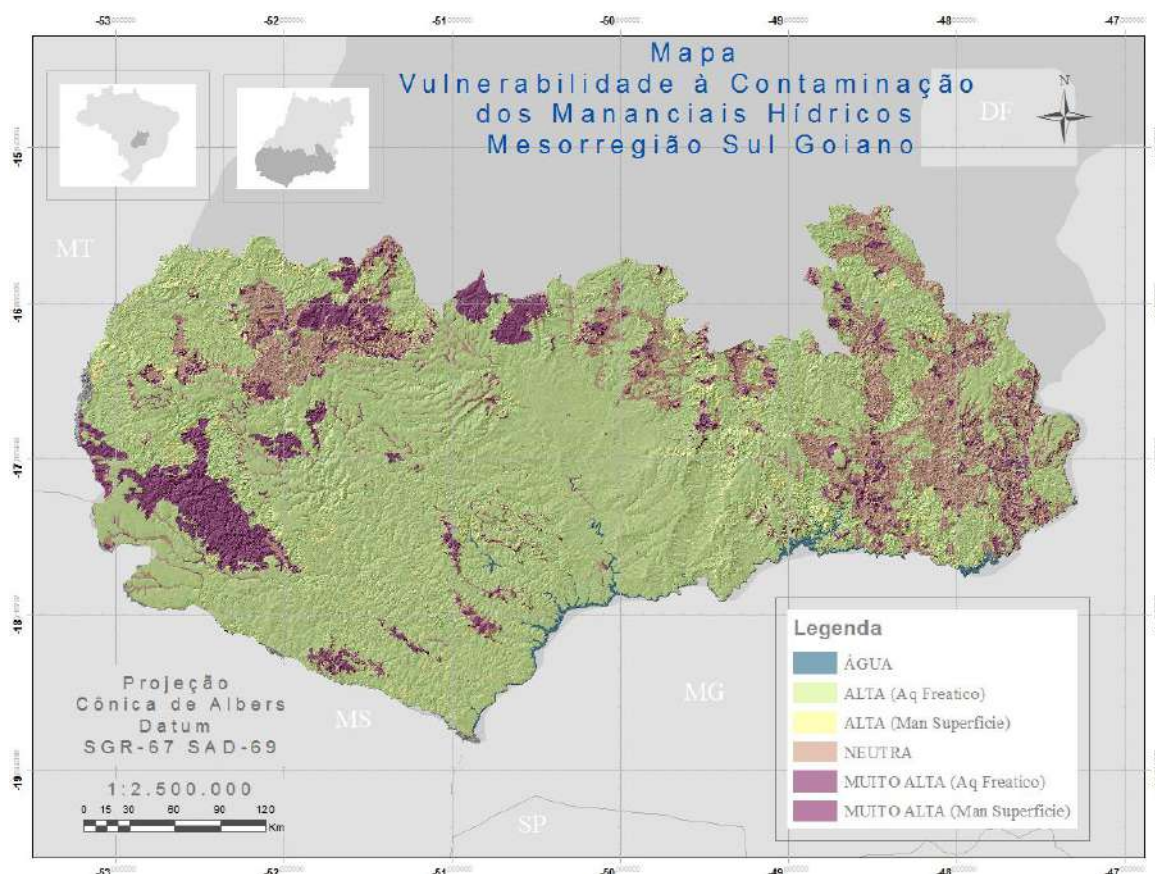


Figura 37 - Mapa: Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos da Mesorregião Sul Goiano - GO. Fonte: Adaptado de Barbalho e Campos (2010)

Barbalho e Campos (2010), a partir dos dados pontuais da condutividade hidráulica dos solos obtidos a partir da distribuição estatística de resultados de infiltração *in situ*, em superfície e em profundidade, realizadas para as diferentes classes de solos, publicados por Almeida *et al.*, (2006) *apud* Barbalho e Campos (2010), e, com base no mapa de solos do Estado de Goiás na escala 1:1.000.000 (Radambrasil – IBGE - Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/produtos>), geraram um modelo especializado (mapa) de classes de condutividade hidráulica dos solos. O quadro 27 e 28 apresenta as classes de condutividade hidráulica dos solos utilizadas por Barbalho e Campos (2010) publicados por Almeida *et al.*(2006). Barbalho e Campos (2010) utilizaram curvas de nível e pontos cotados para gerar um mapa de declividade a partir de uma grade triangular (TIN) e fatiamento em classes de declividades definidas por intervalos arbitrários. O quadro 28 apresenta as classes de declividade utilizadas por Barbalho e Campos (2010).

Os quadros 29 e 30 apresentam, respectivamente, as classes de potencial de infiltração e potencial de escoamento superficial das terras com base nas classes de declividade e de condutividade hidráulica adaptado de Barbalho e Campos (2010).

Quadro 27 - Classes de condutividade hidráulica dos solos por classes pedológicas.

CLASSES PEDOLÓGICAS	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	
	Ordem de Grandeza (<i>m/s</i>)	Classe
Neossolos Quartzarênicos	$>10^{-3}$	Muito Alta
Latossolos	10^{-3} a 10^{-5}	Alta
Argissolos e Nitossolos	10^{-6}	Moderada
Cambissolos, Plintossolos, Neossolos Litólicos e Gleissolos	10^{-7} a 10^{-8}	Baixa

Nota: Fonte. Adaptado de Almeida *et al.*(2006) *apud* Barbalho e Campos (2010)

Quadro 28 - Classes de declividade do terreno.

DECLIVIDADE DO TERRENO		
FAIXA PERCENTUAL	CLASSE	DESCRIÇÃO
0-6%	Baixa	Áreas planas ou quase planas que apresentam declives suaves e escoamento superficial lento
6-12%	Suave	Áreas com relevo ondulado e escoamento superficial médio ou rápido
12-18%	Moderada	Áreas inclinadas que apresentam um escoamento superficial rápido
18-45%	Alta	Áreas com vertentes fortemente inclinadas com escoamento superficial muito rápido

Fonte: Adaptado de Barbalho e Campos (2010)

Quadro 29 - Potencial de infiltração em relação à declividade e a condutividade hidráulica

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	CLASSES DE DECLIVIDADE			
	Baixa (0 a 6%)	Suave (6-12%)	Moderada (12-18%)	Alta (18-45%)
Baixa	Médio	Baixo	Baixo	Muito Baixo
Moderada	Alto	Médio	Baixo	Baixo
Alta	Alto	Alto	Médio	Baixo
Muito Alta	Muito Alto	Alto	Alto	Médio

Quadro 30 - Potencial de escoamento superficial em relação à declividade e a condutividade hidráulica

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	CLASSES DE DECLIVIDADE			
	Baixa (0 a 6%)	Suave (6-12%)	Moderada (12-18%)	Alta (18-45%)
Baixa	Médio	Alto	Alto	Muito Alto
Moderada	Baixo	Médio	Alto	Alto
Alta	Baixo	Baixo	Médio	Alto
Muito Alta	Muito Baixo	Baixo	Baixo	Médio

O quadro 31 apresenta as classes de vulnerabilidade das terras à contaminação dos aquíferos freáticos e caudais de superfície utilizadas neste trabalho (Adaptação de Barbalho e Campos, 2010)

Quadro 31 - Classes de vulnerabilidade das terras à contaminação dos mananciais hídricos conforme o potencial de infiltração e escoamento superficial e pesos associados

POTENCIAL DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA	POTENCIAL DE ESCOAMENTO DA ÁGUA	CLASSES DE VULNERABILIDADE *	PESOS
Muito Alto	Muito Baixo	Muito Alta	3
Alto	Baixo	Alta	2
Médio	Médio	Neutra	-
Baixo	Alto	Moderada	1
Muito Baixo	Muito Alto	Muito Alta	3

Nota: Classes de vulnerabilidade das terras à contaminação dos mananciais hídricos superficiais e aquíferos subterrâneos proposta pelo presente trabalho. Fonte: Adaptado de Barbalho e Campos (2010)

Para a consecução deste estudo de caso foram adotadas 4 classes de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos.

A classe de “Muito Alta” vulnerabilidade representa as situações extremas, tanto do potencial de infiltração quanto do potencial de escoamento superficial, recebendo o peso 3 na ponderação da média. As áreas de “muito alta vulnerabilidade” correspondem àquelas com a declividade baixa e solos com condutividade hidráulica muito alta, conseqüentemente, apresentam alto potencial de infiltração da água e contaminação dos mananciais hídricos subterrâneos, ou correspondem àquelas com alta declividade e baixa condutividade hidráulica.

A classe de vulnerabilidade “Alta” considera a condição de “Alto” potencial de infiltração e contaminação dos aquíferos subterrâneos e baixo escoamento superficial.

As áreas da classe “muito alta” vulnerabilidade correspondem, notadamente, àquelas com dominância dos solos da classe Neossolo Quartzarênico, enquanto as áreas de alta vulnerabilidade àquelas com dominância dos solos da classe da classe Latossolos de acordo com o primeiro nível hierárquico do SBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2009).

A classe de vulnerabilidade “moderada” considera a condição de alto escoamento superficial e baixa infiltração.

A condição intermediária de infiltração e de escoamento superficial é representada pela classe de vulnerabilidade “neutra” que foi excluída da média ponderada.

A figura 37 apresenta o esquemática da metodologia para a elaboração da carta temática de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos freáticos por município, extração e cálculo do indicador de sustentabilidade hídrica

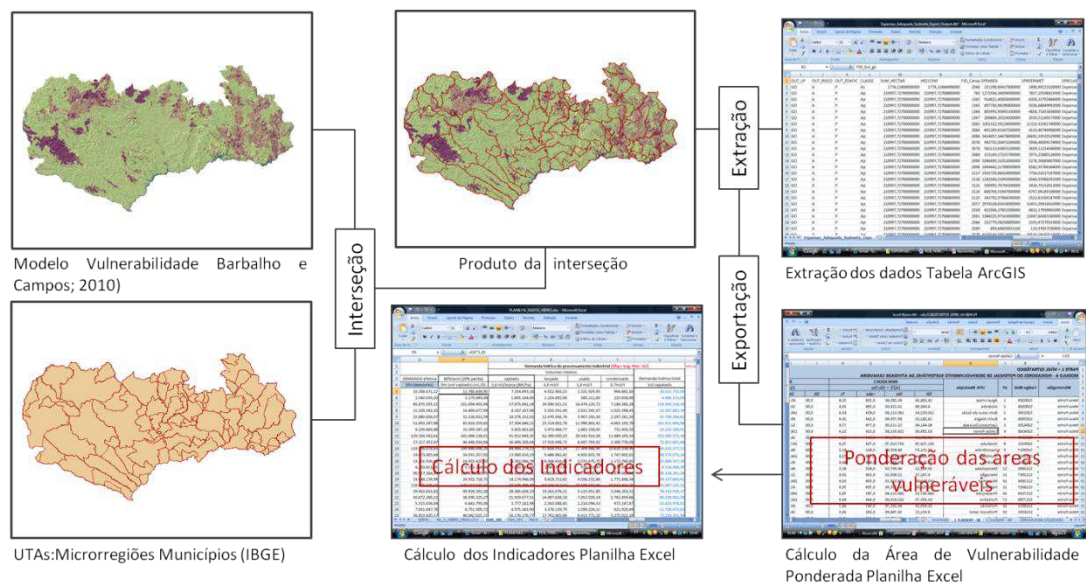


Figura 37 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração da carta temática de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos freáticos por município, extração e cálculo do indicador de sustentabilidade hídrica (IVCH).

Nota: Fonte: Modelo de Vulnerabilidade (Barbalho e Campos; 2010)

8.5.1.3.4 Procedimento metodológico 4

O procedimento metodológico 4 diz respeito à determinação dos *Indicadores do Processo de Ocupação e Expansão da Cultura Canavieira* referentes ao Grupo 1 do Módulo B - Parte 1 do SISH-Cana . O 1º Grupo de Indicadores do Módulo B do SISH-Cana contém dois índices que, em relação à área total, indicam a proporção de ocupação e expansão da cultura canavieira nas Unidades Territoriais de Análise em apreciação. O quadro 32 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 32 - Indicadores do Processo de Ocupação e Expansão da Cultura.

1º GRUPO DO MÓDULO B DO NÍVEL ESTRATÉGICO DO SISH-CANA	
INDICADORES	FÓRMULAS
IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canavieira	$IOCC = Stc/Stu$
IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira	$IECC = (Stc-Stca)/Stu$

Nota: (i) Stc = área total da cultura canavieira; (ii) Stu = área total da unidade territorial de análise; (iii) Stca = área total da cultura canavieira no ano anterior.

Os dados e informações para o cálculo dos indicadores supracitados podem ser extraídos diretamente do Projeto CANASAT do INPE/DSR/LAF que os disponibiliza na forma tabulada no site <www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html>.

Entretanto, para efeito deste exercício, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento e a partir dos “*shapes*” das áreas canavieiras disponibilizados pelo INPE, foram realizados alguns ajustes nas estimativas das áreas de ocupação e expansão da cultura canavieira para a região estudada relativas ao período de 2005/2006 a 2010/2011. A justificativa para os referidos ajustes se encontra na própria metodologia adotada pelo CANASAT para a identificação e classificação das áreas com a cultura da cana-de-açúcar.

Com efeito, o CANASAT/INPE distingue as seguintes classes de uso do solo referentes à cultura da cana-de-açúcar:

- (a) **Soca:** é a classe de lavouras de cana que já passaram por mais de um corte, ou seja, é a cana que rebrotou de uma planta ou de uma soca. Nesta classe também se encontram as lavouras reformadas com cana planta de ano;
- (b) **Reformada:** é a classe das lavouras de cana planta de ano-e-meio que foram reformadas no ano safra anterior e que estão disponíveis para colheita na safra corrente;
- (c) **Expansão:** é a classe de lavouras de cana que pela primeira vez estão disponíveis para colheita. Lavouras de cana que foram convertidas em outro uso por um período

igual ou maior a duas safras e voltaram a ser cultivadas com cana também se inserem nesta classe;

- **(d) Em reforma:** é a classe das lavouras de cana que não serão colhidas devido à reforma com cana planta de ano-e-meio ou por serem destinadas a outro uso. Quando a lavoura da classe "em reforma" é de fato reformada com cana planta de ano-e-meio ela passa para a classe "reformada" no ano safra seguinte.

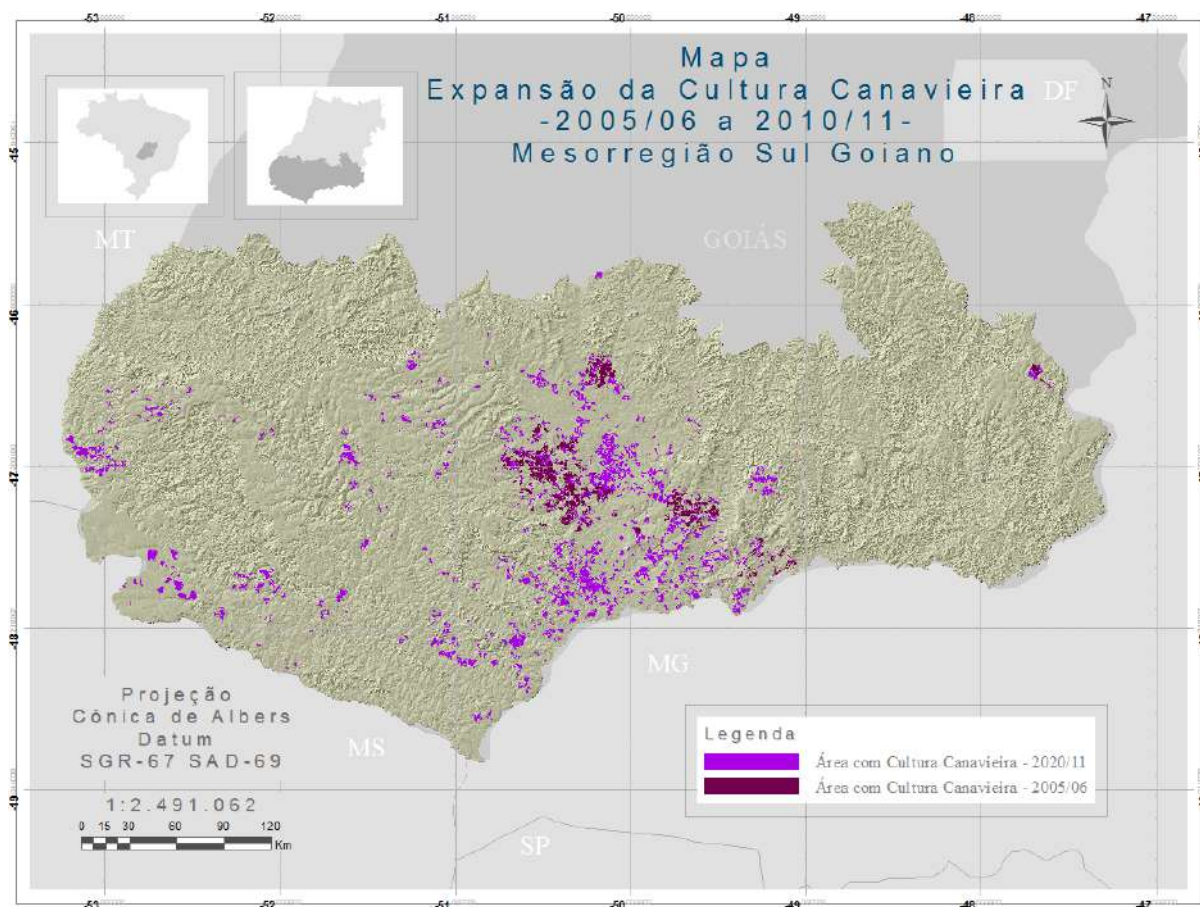


Figura 38 - Mapa: Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos da Mesorregião Sul Goiano - GO. Fonte: CANASAT/INPE

Com base nestas classes o Projeto CANASAT/INPE disponibiliza as seguintes estimativas:

- Total disponível para colheita: corresponde ao somatório das classes: $a + b + c$;
- Total cultivado: corresponde ao somatório das classes: $a + b + c + d$.

Como pode ser observado, a área total cultivada estimada pelo CANASAT inclui a classe “em reforma” que, trata-se, por definição, das áreas que estão sendo reformadas com cana planta de ano-e-meio, mas, também inclui as áreas que estão sendo preparadas para

outros usos, uma vez que, existe uma dificuldade intrínseca para a distinção dessas duas categorias. Deste modo a classe “em reforma” introduz uma incerteza na estimativa do “total da área cultivada” efetivamente. No entanto, a classe “reformada” do ano subsequente constitui a área efetivamente cultivada com a cultura da cana-de-açúcar que esta inclusa na categoria “em reforma” do ano anterior.

Sendo assim, a substituição da área estimada para classe “em reforma” do ano em apreciação pela a área estimada para a classe “reformada” do ano subsequente, eliminaria as áreas contabilizadas indevidamente que introduzem certo grau de imprecisão, ajustando a estimativa da área total cultivada em um determinado ano agrícola em uma dada Unidade Territorial de Análise.

Entretanto, para avaliar a magnitude da imprecisão foi feita uma análise das diferenças entre as áreas: (i) ATC - Área Total Cultivada, fornecida diretamente pelo CANASAT, do ano agrícola em apreciação e a; (ii) ATCa - Área Total Cultivada ajustada, estimada com base no ajuste explicitado dos dados fornecidos pelo CANASAT. A Tabela 6 apresenta os valores da análise das diferenças entre as referidas áreas por microrregião, ano a ano, no período de 2005/2006 a 209/2010.

Tabela 9 - Diferenças das áreas: Área Total Cultivada e Área Total Cultivada ajustada. (continua)

MICRORREGIÕES	ANO AGRÍCOLA	ATC	ATCa	DIF	%DIF
Meia Ponte	2005/2006	34.808	33.811	997	2,86
Sudoeste de Goiás		45.695	43.571	2.124	4,65
Vale do Rio dos Bois		31.270	30.735	535	1,71
Quirinópolis		0	0	0	0,00
Meia Ponte	2006/2007	42.474	42.386	88	0,21
Sudoeste de Goiás		49.778	49.276	502	1,01
Vale do Rio dos Bois		35.659	35.423	236	0,66
Quirinópolis		5.688	5.688	0	0,00
Meia ponte	2007/2008	63.404	62.365	1.039	1,64
Sudoeste de Goiás		56.012	53.984	2.028	3,62
Vale do Rio dos Bois		45.168	43.711	1.457	3,23
Quirinópolis		21.633	21.633	0	0,00

Tabela 9 - Diferenças das áreas: Área Total Cultivada e Área Total Cultivada ajustada. (conclusão)

MICRORREGIÕES	ANO AGRÍCOLA	ATC	ATCa	DIF	%DIF
Meia Ponte	2008/2009	106.577	103.981	2.596	2,44
Sudoeste de Goiás		77.031	74.117	2.914	3,78
Vale do Rio dos Bois		63.392	61.640	1.752	2,76
Quirinópolis		42.542	42.542	0	0,00
Meia Ponte	2009/2010	137.855	135.796	2.059	1,49
Sudoeste de Goiás		113.783	109.605	4.178	3,67
Vale do Rio dos Bois		70.213	67.924	2.289	3,26
Quirinópolis		86.776	86.778	-2	0,00

Nota: (i) ATC = Área Total Cultivada, corresponde ao somatório das classes: a + b + c + d do referido ano agrícola; (ii) ATCa= Área Total Cultivada ajustada, corresponde ao somatório das classes: a + b + c do referido ano + d do ano subsequente; (iii) DIF= diferença aritmética da ATC com ATEC; (iv) %DIF= Percentual da diferença em relação a ATC. Fonte dos dados Projeto CANASAT (INPE) disponível em <www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html>.

Considerando à escala das microrregiões, os dados demonstram que, apesar das diferenças percentuais entre as referidas áreas apresentarem valores relativamente pequenos (não ultrapassando a 4%) alguns valores absolutos das diferenças calculadas podem ser considerados significantes. Além disso, quando se observa os municípios, esses percentuais atingem valores bem mais acentuados, chegando para alguns em particular, a ultrapassar a 10%. Por esta razão, optou-se, neste trabalho, por realizar os respectivos ajustes.

O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

- **Elaboração da carta - Área Total da Cultura Canavieira 2005/2006 (C01-ATCC):**
 Geração de uma carta de referência com a Área Total da Cultura Canavieira para o ano-agrícola base de 2005/2006, início do período estudado. Esta base foi obtida, a partir dos *shapes* originais da Área Total Cultivada para o Estado de Goiás (BC-CANASAT), substituindo o *layer* da classe “em reforma” do ano base de 2005/2006 pelo *layer* da classe “reformada” do ano base, subsequente, 2006/2007, por meio das seguintes operações de geoprocessamento: (i) Eliminação do *layer* da classe “em reforma” do *shape* da Área Total Cultivada do ano-agrícola base de 2005/2006 Goiás (BC-CANASAT, 2005/2006), através da função: *Analysis Tools/ Extract/Select do ArcCatalog/ArcGIS10*; (iii) Extração do *layer* da classe “ reformada” do *shape* da Área Total Cultivada do ano-agrícola base de 2006/2007 Goiás (BC-CANASAT,

2006/2007), através da função: *Analysis Tools/Extract/Select do ArcCatalog/ArcGIS10*; (iii) Atualização da base de referência da Área Total Cultivada do ano-agrícola base de 2005/2006, ajustada, com *shape* com o *layer* da classe “reformada” de 2006/2007, através da função: *Analysis Tools/ Overlay/Update do ArcCatalog/ArcGIS10*;

- **Elaboração da carta - Área de Expansão da Cultura Canavieira 2010/2011 (C02-AECC):** Geração de uma carta com a Área de Expansão da Cultura Canavieira para o período entre os anos-agrícolas de 2005/2006 a 2010/2011. Esta base foi obtida a partir dos *shapes* originais da Área Total Cultivada para o Estado de Goiás, período 2006/2007 a 2010/2011 (BR-CANASAT), fazendo o somatório ou união somente das áreas de “expansão” de todos os anos do período especificado, por meio das seguintes operações de geoprocessamento: (i): União dos *layers*, *ano a ano*, da classe “expansão” de todos os anos agrícolas do período 2006/2007 a 2010/2011, formando um *shape* integrado, através da função: *Analysis Tools/ Overlay /Union do ArcCatalog/ArcGIS10*; (ii) Subtração da carta Área Total da Cultura Canavieira 2005/2006 (C01-ATCC) do *shape* com a união dos *layers* da classe “expansão” através da função: *Analysis Tools/Overlay/Erase do ArcCatalog/ArcGIS10*. Observa-se que esta última operação foi realizada para fazer um pequeno ajuste na “área final de expansão da cultura canavieira”, visto que, algumas áreas (polígonos) que foram classificadas como de “expansão” já apareciam como áreas canavieiras em 2005/2006. De fato, durante o período estudado, essas áreas deixaram de ser e tornaram a ser áreas cultivadas com a cultura canavieira, superestimando a área de expansão total para o período avaliado; (iii) Interseção da carta Área Total de Expansão da Cultura Canavieira, ajustada, com o *shape* das microrregiões e municípios, através da função: *Analysis Tools/Overlay/Intersect do ArcCatalog/ArcGIS10*;
- **Extração dos dados:** Seleção e extração dos dados por microrregião através da função *Select by attributes do ArcMap/ArcGIS10* e exportação das Figuras do *ArcMap/ArcGis10* em formato *xml* para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office*, para o posterior cálculo dos indicadores explicitados;
- **Cálculo dos Indicadores:** Efetivação dos cálculos dos indicadores IOCC e IECC, para os municípios e microrregiões, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*.

A figura 39 apresenta um esquema sumarizando a metodologia para a elaboração das cartas de referência e shapes para o cálculo dos Indicadores do Processo de Ocupação e Expansão da Cultura (IOCC e IECC).

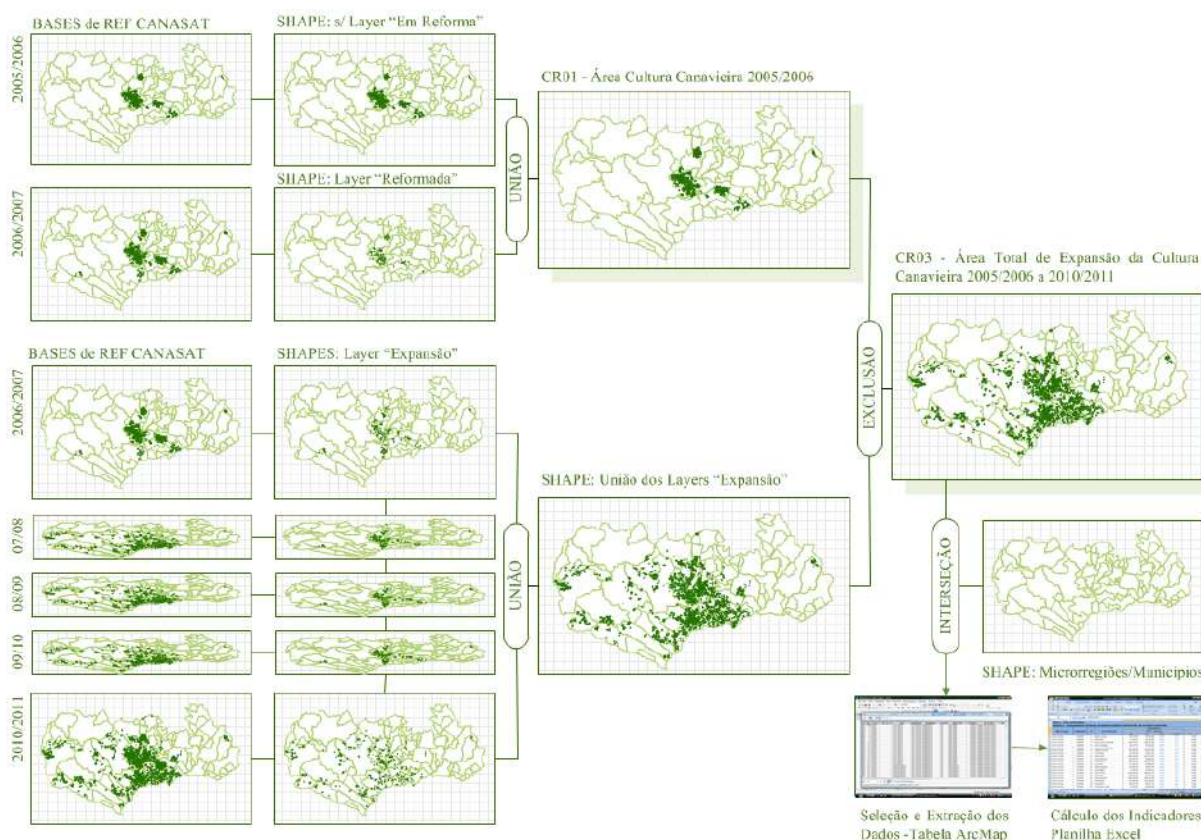


Figura 39 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração das cartas de referência e *shapes* para o cálculo dos indicadores do Processo de Ocupação e Expansão da Cultura (IOCC e IECC).

8.5.1.3.5 Procedimento metodológico 5

O procedimento metodológico 5 diz respeito à determinação dos Indicadores de substituição de atividades agropecuárias e supressão da vegetação nativa pela cultura canavieira (Item 7.17.1) componentes do Grupo 2 do Módulo B da Parte 1 do SISH-Cana. Este Grupo contém dois índices que indicam, em relação ao somatório da área de expansão e retração da cultura canavieira, o saldo de substituição mútua entre atividades agrícolas ou pastagens e a cultura canavieira. Um terceiro índice sinaliza para a proporção da supressão de áreas com vegetação nativa em função da expansão canavieira. O quadro 33 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 33 - Indicadores de Substituição de Atividades Agrícolas e Mudanças de Uso do Solo.

2º GRUPO DO MÓDULO B DO NÍVEL ESTRATÉGICO DO SISH-CANA	
INDICADORES	FÓRMULAS
ISAA - Índice de Substituição de Áreas Agrícolas	$ISAA = (Sca - Sac) / (Sec + Src)$
	$ISAA^* = Sca / Sec$
ISAP - Índice de Substituição de Áreas com Pastagens	$ISAP = (Scp - Spc) / (Sec + Src)$
	$ISAP^* = Scp / Sec$
ISVN - Índice de Supressão de Vegetação Nativa	$ISVN = Ssv / Sec$

Nota: (i) Sca = área de substituição de culturas agrícolas pela cultura da cana-de-açúcar; (ii) Sac = área de substituição da cultura da cana-de-açúcar por culturas agrícolas; (iii) Scp = área de substituição de pastagens pela cultura da cana-de-açúcar; (iv) Spc = área de substituição da cultura da cana-de-açúcar por pastagens; (v) Ssv = área de supressão de vegetação nativa em função da expansão da cultura canavieira; (vi) Sec = área de expansão da cultura canavieira; (viii) Src = área de retração da cultura canavieira. ISAA* e ISAP* correspondem às fórmulas simplificadas, quando não há retração da cultura canavieira.

Cumprе esclarecer que para efeito do exercício deste estudo de caso foram utilizadas as fórmulas simplificadas, uma vez que, as áreas de retração da cultura canavieira, ou seja, perda de áreas para outras atividades agrícolas ou pecuárias foram desprezíveis em comparação com as áreas de expansão da cultura canavieira.

Os dados para o cálculo dos indicadores supracitados foram extraídos a partir da elaboração de uma base cartográfica de referência de Uso da Terra e Cobertura do Solo para o ano-agrícola base de 2005/2006. A referida base foi obtida a partir dos dados do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO (MMA 2004) ano base 2002 e dados do Projeto CANASAT/INPE do ano-agrícola base 2005/2006, ambos para o Estado de Goiás.

Os dados do PROBIO foram elaborados a partir da interpretação e classificação semi-automática de imagens orbitais Landsat ETM+ do ano base 2000 com resolução espacial da ordem de 20 a 30 metros. O mapeamento de Uso da Terra e Cobertura do Solo foi realizado com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Vegetação do Brasil (IBGE, 1992) na escala de 1:250.000 (EMBRAPA, 2007).

De acordo com Embrapa (2007), a classificação da vegetação brasileira (IBGE, 1992) adotada no Projeto PROBIO, estabelece para o Estado de Goiás três tipologias, em nível de formação, subdivididas em diversas sub-formações, que compõem as regiões fitoecológicas a seguir:

- **Região fitoecológica da savana (cerrado):** (i) Savana florestada (S1); (ii) Savana arborizada sem floresta de galeria (S2); (iii) Savana arborizada com floresta de galeria (S3); (iv) Savana parque sem floresta de galeria (terrenos bem drenados) (S4); (v) Savana parque com floresta de galeria (terrenos bem drenados) (S5); (vi) Savana parque sem floresta de galeria (terrenos mal drenados) (S6); (vii) Savana parque com floresta de galeria (terrenos mal drenados) (S7); (viii) Savana gramíneo-lenhosa sem floresta de galeria (terrenos bem drenados) (S8); (ix) Savana gramíneo-lenhosa com floresta de galeria (terrenos mal drenados) (S9);
- **Região fitoecológica da floresta estacional semidecidual:** (i) Floresta estacional semidecidual aluvial (F1); (ii) Floresta estacional semidecidual das terras baixas (F2); (iii) Floresta estacional semidecidual submontana (F3); (iv) Floresta estacional semidecidual submontana (F4); (v) Floresta estacional semidecidual montana (F5);
- **Região fitoecológica da floresta estacional decidual:** (i) Floresta estacional decidual submontana (D1); (ii) Floresta estacional decidual submontana (D2); (iii) Floresta estacional decidual montana (D3).

Ainda segundo Embrapa (2007) para as áreas antropizadas e outras categorias as seguintes classes foram distintas:

- **Atividades agropecuárias:** (i) Cultura agrícola (CA); (ii) Pastagem cultivada (PC); (iii) Reflorestamento (RE);
- **Áreas urbanizadas:** (i) Área urbana (AU); (ii) Núcleo rural (AU);
- **Outras categorias:** (i) queimadas (QM); (ii) mineração (MI); (iii) área degradada (AD); (iv) corpos d'água (CA); (v) nuvens (NU).

No presente trabalho foram considerados os seguintes critérios para o estabelecimento das classes de “uso e cobertura do solo” de interesse: (i) Culturas Agrícolas: correspondendo a união das classes “cultura agrícola” com “reflorestamento” (CA+RE); (ii) Pastagens: correspondendo a classe “pastagem cultivada” (PC); (iii) Vegetação Nativa: correspondendo todas as categorias fitofisionômicas referentes às formações e subformações naturais.

Considerou-se ainda que os dados do PROBIO, apesar de terem sido obtidos com base no ano de 2002, estariam razoavelmente atualizados em relação ao ano-base de 2005, admitindo-se que as mudanças de uso do solo ocorridas em um período de três anos, com a exceção do próprio processo de expansão da cultura canavieira, não teriam mudado substancialmente os padrões de uso e cobertura do solo na região de interesse. Assim, como as categoriais de classificação de uso antrópico do solo do PROBIO não discriminam os tipos de culturas agrícolas, foi realizada uma “atualização” da base do PROBIO com os dados da

cultura canavieira do ano-agrícola base de 2005/2006 do Projeto CANASAT (INPE/DSR/LAF), de modo a obter uma base de referência de Uso da Terra e Cobertura do Solo contendo a classe “cultura da cana-de-açúcar”.

O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

- ***Elaboração da Carta - Uso da Terra e Cobertura do Solo 2005/2006 (C03-UTCS):*** Geração de uma carta de referência do Uso da Terra e Cobertura do Solo para o ano-agrícola base de 2005/2006, início do período estudado. Esta carta foi obtida, a partir da base de referência de Uso da Terra e Cobertura do Solo (BR-PROBIO) e dos *shapes* originais da Área Total Cultivada para o Estado de Goiás (BR-CANASAT), por meio das seguintes operações de geoprocessamento: (i) União da carta de referência Área Total da Cultura Canavieira 2005/2006 (C01-ATCC) com a base de referência do Uso da Terra e Cobertura do Solo (BR-PROBIO), através da função: *Analysis Tools/ Overlay/Update do ArcCatalog/ArcGIS10*; (ii) Interseção com o *shape* das microrregiões e municípios, através da função: *Analysis Tools/Overlay/Intersect do ArcCatalog/ArcGIS10*;
- ***Interseção da Área de Expansão da Cultura Canavieira 2010/2011 (C02-AECC) com o Uso da Terra e Cobertura do Solo 2005/2006 (C03-UTCS):*** *Shape* obtido por meio da seguinte operação de geoprocessamento: (i): Interseção das cartas de referência C02-AECC e C03-UTCS, através da função: *Analysis Tools/ Overlay /Intersect do ArcCatalog/ArcGIS10*;
- ***Extração dos dados:*** Seleção e extração dos dados por microrregião através da função *Select by attributes do ArcMap/ArcGIS10* e exportação das Figuras do *ArcMap/ArcGis10* em formato *xml* para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office*, para o posterior cálculo dos indicadores explicitados;
- ***Cálculo dos Indicadores:*** Efetivação dos cálculos dos indicadores ISAA, IASP e IASV, para os municípios e microrregiões, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*.

A figura 40 apresenta um esquema sumarizando a metodologia para a elaboração das cartas de referência e *shapes* para o cálculo dos indicadores Substituição de Atividades Agrícolas e Mudanças de Uso do Solo (ISAA, IASP e IASV).

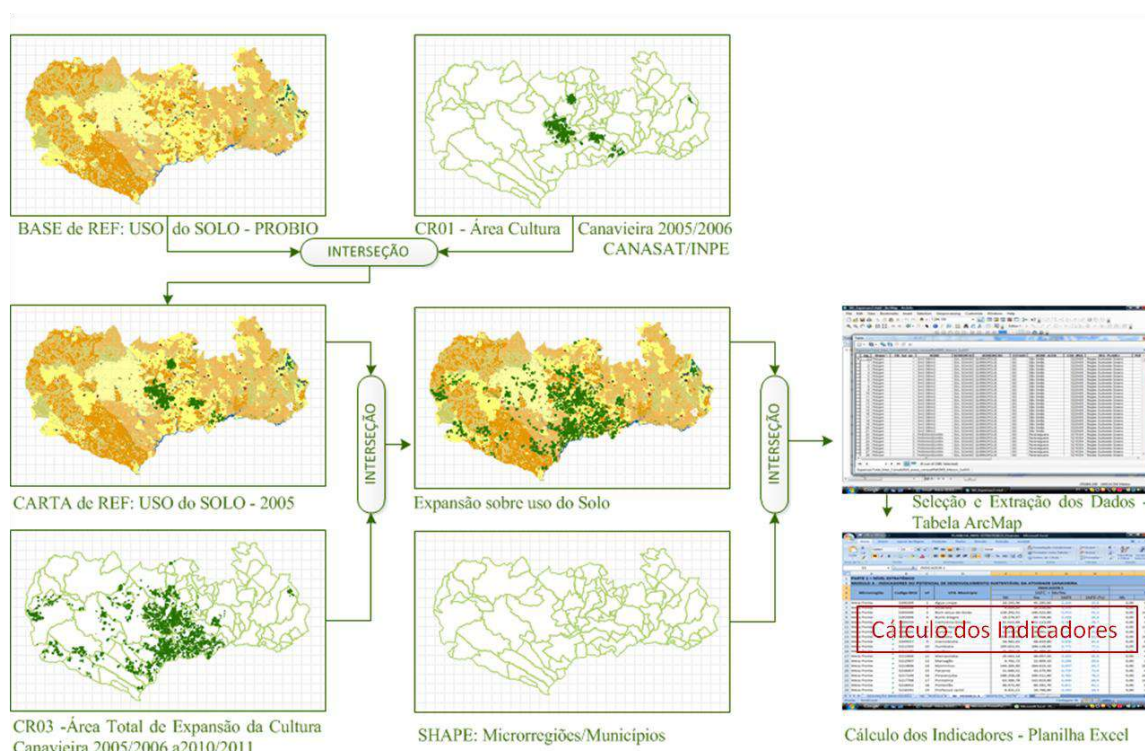


Figura 40 - Apresentação esquemática da metodologia para a elaboração das cartas de referência e *shapes* para o cálculo dos indicadores Substituição de Atividades Agrícolas e Mudanças de Uso do Solo (ISAA, IASP e IASV).

8.5.1.3.6 Procedimento metodológico 6

O procedimento metodológico 6 diz respeito à determinação dos *Indicadores da adequabilidade do processo de expansão da cultura canavieira* (Item 7.18.1) componentes do Grupo 3 do Módulo B da Parte 1 do SISH-Cana. Este Grupo contém apenas um índice que indica a proporção da área de expansão da cultura canavieira que ocorreu em áreas de topografia adequada e aptidão edáfica média e alta nas Unidades Territoriais de Análise em apreciação. O quadro 34 apresenta o indicador com a respectiva fórmula matemática.

Quadro 34 - Indicador de Adequação do Processo de Expansão da Cultura Canavieira.

3º GRUPO DO MÓDULO B DO NÍVEL ESTRATÉGICO DO SISH-CANA	
INDICADOR	FÓRMULA
IEAC - Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira	$IEAC = Seac/Sec$

Nota: (i) Seac = área de expansão adequada da cultura canavieira; (ii) Sec = área total de expansão da cultura canavieira.

Os dados para o cálculo do indicador supracitado foram extraídos a partir da interseção da base cartográfica de referência do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar – ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009) com a carta da Área de Expansão da Cultura Canavieira ano-agrícola base de 2010/2011 (C02- AECC) obtida a partir dos dados do Projeto CANASAT/INPE, ambos para o Estado de Goiás. O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

- **Interseção da Área de Expansão da Cultura Canavieira 2010/2011 (C02-AECC) com o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (BR- ZAE-Cana):** Shape obtido por meio da seguinte operação de geoprocessamento: (i): Interseção da carta de referência C02-AECC e a base cartográfica BR- ZAE-Cana, através da função: *Analysis Tools/ Overlay /Intersect do ArcCatalog/ArcGIS10*;
- **Extração dos dados:** Seleção e extração dos dados por microrregião através da função *Select by attributes do ArcMap/ArcGIS10* e exportação das Figuras do *ArcMap/ArcGis10* em formato *xml* para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office*, para o posterior cálculo dos indicadores explicitados;
- **Cálculo dos Indicadores:** Efetivação dos cálculos do indicador IEAC, para os municípios e microrregiões, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*.

A figura 41 apresenta um esquema da metodologia adotada para a elaboração do *shape* para o cálculo do Indicador IEAC.

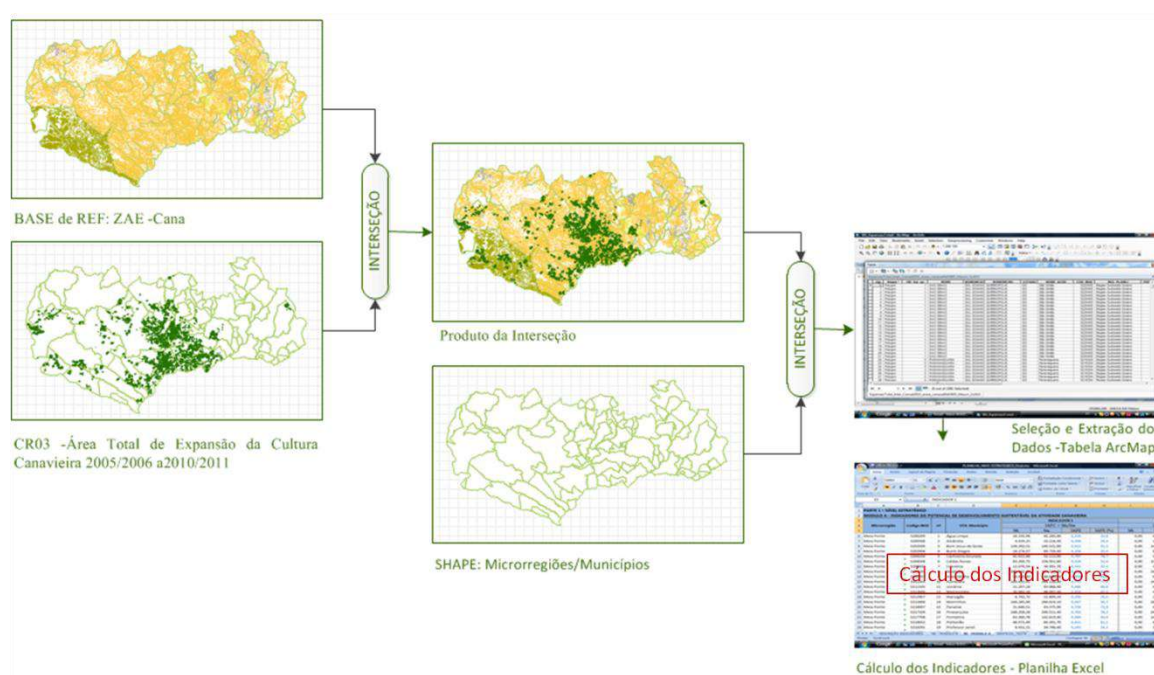


Figura 41 - Esquemática da metodologia adotada para a elaboração do *shape* para o cálculo do indicador de Adequação do Processo de Expansão da Cultura Canavieira (IEAC).

8.5.1.3.7 Procedimento metodológico 7

O procedimento metodológico 7 diz respeito à determinação dos Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira (Item 7.1.9) componentes do Grupo 4 do Módulo B da Parte 1 do SISH-Cana . Este Grupo contém dois índices que indicam a proporção da ocupação da cultura canavieira em relação à Área Máxima de Expansão Sustentada para atividade canavieira em sistema de sequeiro ou irrigação suplementar nas Unidades Territoriais de Análise em apreciação. O quadro 35 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 35 - Indicadores do Processo de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira.

4º GRUPO DO MÓDULO A DO NÍVEL ESTRATÉGICO DO SISH-CANA	
INDICADORES	FÓRMULAS
IESCs - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em sistema de sequeiro	$IESCs = Scs / Smes$
IESCi - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em sistema de irrigação	$IESCi = Sci / Smei$

Nota: (i) Scs = área da cultura canavieira em sistema de sequeiro; (ii) Sci = área da cultura canavieira em sistema de irrigação; (iii) Smes = área máxima de expansão sustentada para a cultura canavieira em sistema de sequeiro; (vi) Smei = área máxima de expansão sustentada para a cultura canavieira em sistema de irrigação

Os dados para o cálculo dos indicadores supracitados foram obtidos a partir da carta da Área de Expansão da Cultura Canavieira ano-agrícola base de 2010/2011 (C02- AECC) e do procedimento de estimativa do atendimento da demanda hídrica por sistema de produção descrito no item 8.5.1.3.2.

O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

- **Extração dos dados:** Seleção e extração dos dados da Área de Expansão da Cultura Canavieira 2010/2011 (C02-AECC), por microrregião e municípios, através da função *Select by attributes do ArcMap/ArcGIS10* e exportação das Figuras do *ArcMap/ArcGis10* em formato *xml* para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office*, para o posterior cálculo dos indicadores explicitados;
- **Cálculo dos Indicadores:** Efetivação dos cálculos dos indicadores IESCs e IESCi, para os municípios e microrregiões, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*.

A figura 42 apresenta um esquema summarizando a metodologia adotada para o cálculo dos indicadores do processo de expansão sustentada da cultura canvieira (IESCs e IESCi).

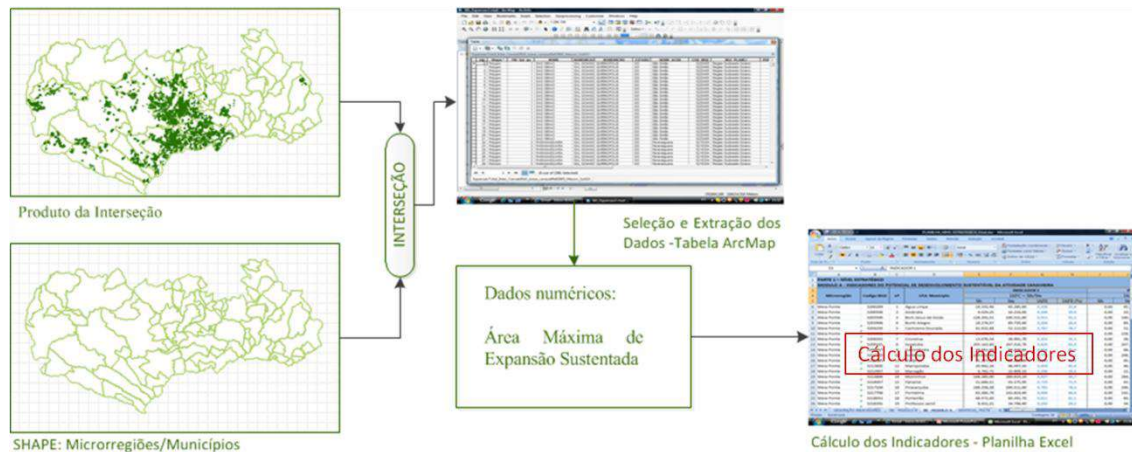


Figura 42 - Apresentação esquemática da metodologia adotada para o cálculo dos indicadores do processo de expansão sustentada da cultura canvieira (IESCs e IESCi).

8.6 Apresentação e discussão dos resultados

Com o propósito de exemplificar as diferentes possibilidades de aplicação do SISH-Cana, o *Estudo de Caso dos Focos de Expansão da Cultura Canvieira na Mesorregião Sul do Estado de Goiás* foi dividido em diferentes estudos sintético-analíticos cujos resultados e discussão serão separadamente apresentados.

8.6.1 Estudo 1: Avaliação analítica do potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canvieira nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.

A partir da utilização dos indicadores do Módulo A do SISH-Cana e das grandezas físicas que os determinam se torna possível realizar uma avaliação analítica do potencial de sustentabilidade hídrica de diferentes Unidades Territoriais de Análise para o desenvolvimento da atividade canvieira. Desta forma, o presente item apresenta um estudo cujo objetivo consistiu na realização de uma avaliação analítica do potencial de

sustentabilidade hídrica das microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte - para o desenvolvimento da atividade canavieira.

O procedimento analítico para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica das UTAs para a atividade canavieira compõe-se dos seguintes tópicos: (i) Avaliação do potencial edafoclimático das UTAs para o cultivo da cultura canavieira; (ii) Avaliação da vulnerabilidade das UTAs quanto ao risco de contaminação (iii) Avaliação do potencial hídrico das UTAs para o desenvolvimento da atividade canavieira; (iv) Avaliação do potencial de expansão sustentada da atividade canavieira nas UTAs.

8.6.1.1 Avaliação do potencial edafoclimático das UTAs para o cultivo da cultura canavieira.

A avaliação do potencial edafoclimático das Unidades Territoriais de Análise, em apreciação, constitui a primeira etapa metodológica para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica das Unidades Territoriais de Análise para o desenvolvimento da atividade canavieira. O potencial edafoclimático nada mais é que a ocorrência relativa de áreas com clima favorável e solo adequado para o cultivo da cana-de-açúcar em escala agroindustrial. É avaliado por meio de um modelo espacial que represente a aptidão edafoclimática da região em avaliação. Os critérios adotados neste estudo foram os estabelecidos pelo ZAE-Cana (Embrapa, 2009) e encontram-se descritos no item 8.5.1.3.1.

O SISH-Cana dispõe de três índices que indicam a ocorrência e a proporção de áreas favoráveis para o desenvolvimento da atividade canavieira em relação à área total da Unidade Territorial de Análise. Os indicadores são: (i) $IAFC_T$ - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) $IAFC_S$ - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) $IAFC_I$ - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema Irrigação Compulsória. O primeiro indicador sinaliza a ocorrência e a proporção da área total favorável ao desenvolvimento da cultura canavieira. O segundo sinaliza a ocorrência e a proporção das áreas favoráveis à condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro. Enquanto, o terceiro sinaliza a ocorrência e a proporção das áreas cuja prática da irrigação se torna compulsória para se obter produtividades satisfatórias. Os indicadores e os valores absolutos das áreas correspondentes: (i) Área Favorável à Cultura Canavieira (S_{FT}); (ii) Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (S_{FS}); (iii) Área de Irrigação

Compulsória para Cultura Canavieira (S_{IC}); foram tabulados e apresentados na forma de gráfico, na tabela 10 e figura 43, respectivamente.

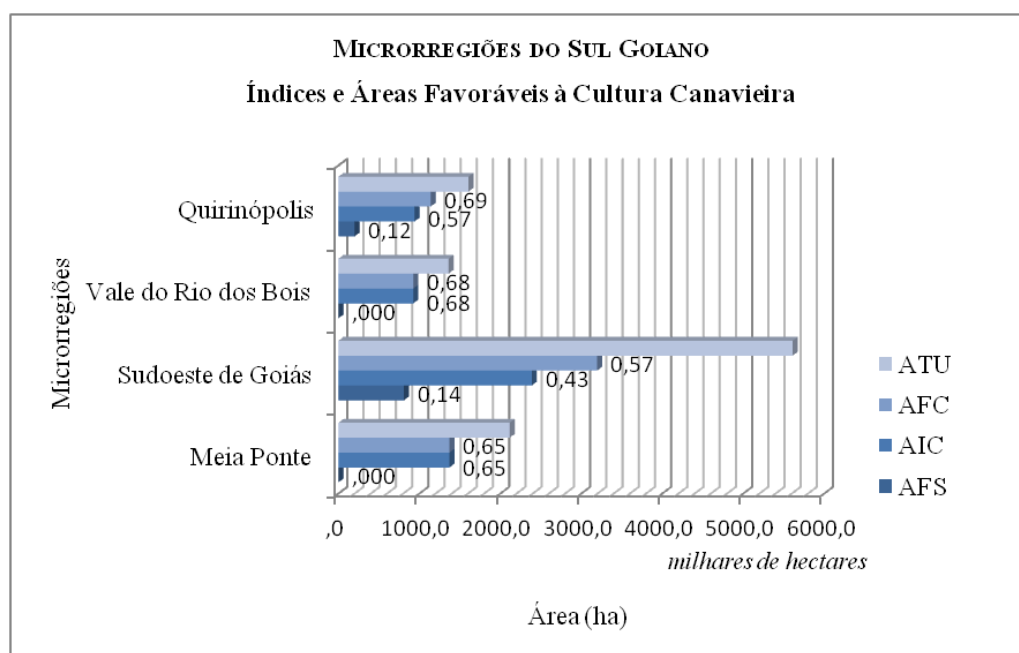


Figura 43 - Gráfico: Índices e áreas favoráveis à cultura canavieira por microrregião.

Nota: Legenda: (i) ATU - Área Total da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}); (ii) AFC - Área Favorável à Cultura Canavieira (S_{FT}); (iii) AIC - Área de Irrigação Compulsória para Cultura Canavieira (S_{IC}); (iv) AFS - Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (S_{FS}) - Rótulos: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_I - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; (iii) IAFC_S - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro.

A análise comparativa revela que, dentre as microrregiões estudadas, a microrregião Sudoeste de Goiás apresenta, com mais de 3,1 milhões de hectares (57% da ATU), a maior área absoluta favorável ao desenvolvimento da cultura canavieira, seguida das microrregiões: Meia Ponte com 2,1 milhões de hectares (65% da ATU); Quirinópolis com 1,1 milhões de hectares (69% da ATU) e Vale do Rio dos Bois com 0,9 milhões de hectares (68% da ATU).

Observa-se que as microrregiões de Meia Ponte e Vale do Rio dos Bois possuem somente áreas favoráveis ao cultivo da cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória, conforme sinaliza a equivalência entre os respectivos índices de área favorável a cultura canavieira e os índices de área de irrigação compulsória (IAFC_T = IAFC_I). Ensejando, a princípio, uma expectativa de pressão sobre os recursos hídricos disponíveis em função da necessidade de se atender à demanda hídrica projetada para a irrigação suplementar de uma vasta área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira.

Tabela 10 - Índices e áreas favoráveis para o cultivo da cultura canavieira por microrregião.

MICRORREGIÕES	ÁREAS (ha)				INDICADORES		
	AFS	AIC	AFC	ATU	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I
Meia Ponte	0,00	1.371.286,31	1.371.286,31	2.116.556,00	0,65	0,00	0,65
Sudoeste de Goiás	807.960,82	2.388.214,00	3.196.174,83	5.611.153,00	0,57	0,14	0,43
Vale do Rio dos Bois	0,00	924.244,73	924.244,73	1.360.860,00	0,68	0,00	0,68
Quirinópolis	199.789,18	941.099,98	1.140.889,17	1.606.810,30	0,69	0,12	0,57
Totais	1.007.750,01	5.624.845,03	6.632.595,04	10.695.379,30	0,62	0,09	0,53

Nota: Áreas: (i) ATU - Área total da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}); (ii) AFC - Área Favorável à Cultura Canavieira (S_{FT}); (iii) AIC - Área de Irrigação Compulsória para Cultura Canavieira (S_{IC}); (iv) AFS - Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (S_{FS}) - Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_I - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; (iii) IAFC_S - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro.

As microrregiões Sudoeste de Goiás e Quirinópolis possuem tanto áreas favoráveis para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro (14% e 12% da UTA, respectivamente) quanto às áreas nas quais o emprego de irrigação suplementar se faz necessário para a produção de cana-de-açúcar em nível industrial (43% e 57% da UTA, respectivamente).

Observa-se ainda, que todas as microrregiões estudadas possuem mais de 50% das suas áreas territoriais favoráveis ao cultivo da cultura canavieira, e, considerando a região como um todo, se contabiliza 6,6 milhões de hectares aptos para o cultivo da cultura canavieira, 62% da extensão territorial de aproximadamente 10,6 milhões de hectares.

Conforme evidenciado, a extensão total da área favorável ao desenvolvimento da cultura canavieira nas microrregiões estudadas é muito expressiva, configurando, a princípio, um elevado potencial de expansão para a atividade sucroalcooleira. Desta forma, potencialmente, as microrregiões: Sudoeste Goiano, Vale dos Rios dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte, podem oferecer o suporte necessário para a expansão do setor sucroalcooleiro na Mesorregião Sul Goiano, no Estado de Goiás. Entretanto, se por um lado, as condições favoráveis de topografia e solos propiciam a expansão da atividade canavieira, por outro, a relativa desfavorabilidade climática induz a necessidade de utilização da prática da irrigação

suplementar em mais de 84% da área total favorável à cultura canavieira, o que, conseqüentemente, pode elevar os níveis de pressão sobre os recursos hídricos disponíveis.

8.6.1.2 Avaliação da vulnerabilidade das UTAs quanto ao risco de contaminação dos mananciais hídricos.

Para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica das Unidades Territoriais de Análise para o desenvolvimento da atividade canavieira também é preciso contemplar a fragilidade natural ou o risco de contaminação dos mananciais hídricos em função do uso indevido dos efluentes da agroindústria sucroalcooleira.

Como na atividade sucroalcooleira o principal efluente agroindustrial constitui a vinhaça que é produzida em grandes quantidades na atividade sucroalcooleira e é, normalmente, utilizada na fertirrigação da cultura da cana-de-açúcar se torna relevante realizar uma análise da vulnerabilidade das terras quanto ao risco de contaminação dos recursos hídricos por conta desta prática. Neste caso, como recursos hídricos, entende-se tanto os mananciais dos aquíferos freáticos quanto os caudais de superfície que estão sujeitos à contaminação, seja pela infiltração ou por carreamento do efluente especificado. Por isso, no presente estudo foi utilizado um modelo de vulnerabilidade dos solos e dos mananciais hídricos subterrâneos e superficiais à contaminação por vinhaça, cuja metodologia encontra-se descrita no item 8.5.1.3.3

Para este caso, o Módulo A do SISH-Cana oferece um único indicador: (i) *IVCH – Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos*.

Os resultados, em termos de valores absolutos das áreas consideradas vulneráveis à contaminação por vinhaça por microrregião e respectivos indicadores, estão apresentados no gráfico da figura 44 e na tabela 11.

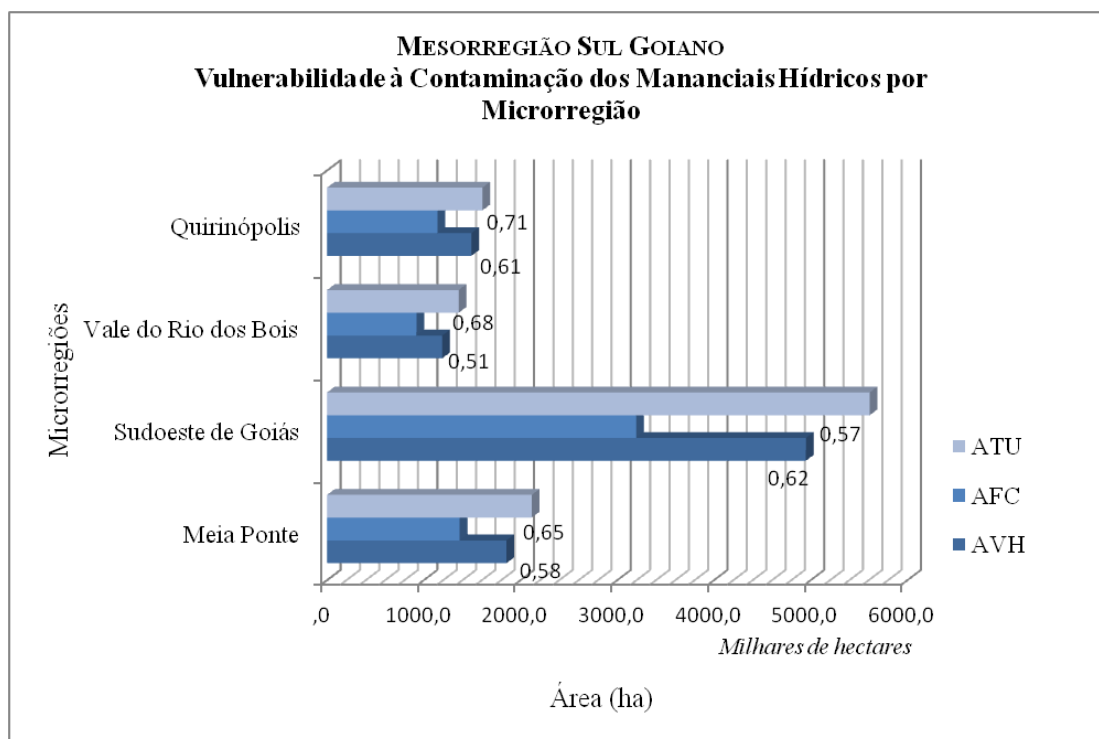


Figura 44 - Gráfico: Índices de vulnerabilidade e áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos freáticos por microrregião.

Nota: Legenda: (i) ATU - Área Total da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}); (ii) AFC - Área Favorável à Cultura Canavieira (S_{FT}); (iii) AVH - Área Vulnerável a Contaminação dos Mananciais Hídricos (corresponde ao somatório das classes de vulnerabilidades consideradas pela ponderação) - Rótulos: (i) $IAFC_T$ - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira; (ii) $IVCH$ - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos.

A análise comparativa dos resultados revela que todas as microrregiões apresentaram elevadas proporções de áreas consideradas vulneráveis quanto ao risco de contaminação por vinhaça dos mananciais hídricos freáticos e superficiais de acordo com os critérios estabelecidos neste estudo de caso. A microrregião Sudoeste de Goiás, perfazendo 88,2% da área total do seu território, apresentou, com aproximadamente 4,6 milhões de hectares, a maior extensão de áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos. Seguida das microrregiões de Meia Ponte com 87,6% e de Quirinópolis com 92,8 % das áreas totais, respectivamente, 1,8 e 1,5 milhões de hectares de áreas vulneráveis aproximadamente. A microrregião Vale do Rio dos Bois figura como a de menor extensão com 1,2 milhões de hectares de áreas vulneráveis à contaminação com vinhaça, correspondendo a 87,5% do seu território.

Tabela 11 - Índices de vulnerabilidade e áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos pela vinhaça, por microrregião.

MICRORREGIÕES	ÁREAS (ha)			INDICADORES	
	AVC	AFC	ATU	IVCH	IAFC _T
Meia Ponte	1.855.138,13	1.371.286,31	2.116.556,00	0,58	0,65
Sudoeste de Goiás	4.950.809,28	3.196.174,83	5.611.153,00	0,62	0,57
Vale do Rio dos Bois	1.191.209,34	924.244,73	1.360.860,00	0,51	0,68
Quirinópolis	1.491.834,54	1.140.889,17	1.606.810,30	0,61	0,71
Totais	9.488.991,28	6.632.595,00	10.695.379,30	0,60	0,62

Nota: Áreas: (i) ATU - Área total da Unidade Territorial de Análise; (ii) AFC - Área Favorável à Cultura Canavieira; (iii) AVH - Área Vulnerável a Contaminação dos Mananciais Hídricos - Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos.

É interessante notar que em todas as quatro microrregiões estudadas os percentuais de áreas vulneráveis à contaminação por vinhaça além de elevados não apresentaram grande variabilidade, ficando acima de 87% dos respectivos territórios. Contudo, os índices de vulnerabilidade discriminam as microrregiões conforme a ponderação das áreas das classes de vulnerabilidade estabelecidas no modelo de referência adotado e, desta forma, destaca-se as microrregiões, Sudoeste de Goiás com um grau de vulnerabilidade mais expressivo (IVCH = 0,62) e Vale do Rio dos Bois com o menor grau de vulnerabilidade, segundo a metodologia adotada e explicitada (IVCH = 0,51). O índice IVCH se situou em 0,61 e 0,58 para Meia Ponte e Quirinópolis, respectivamente.

Conforme os critérios adotados e explicitados no item 8.5.1.3.3 foram consideradas, para efeito da contabilização da área ponderada de vulnerabilidade, as áreas das classes de vulnerabilidade à contaminação por vinhaça com potencial de infiltração “alto” e “muito alto” e das classes com “alto” e “muito alto” risco de carreamento dos contaminantes por conta do deflúvio superficial receberam maiores pesos. Desta forma, constata-se que em algumas localizações dos municípios de Serranópolis; Mineiros, Caiapônia, situados na microrregião do Sudoeste de Goiás, encontram-se expressivas áreas da classe “muito alta” vulnerabilidade à contaminação por vinhaça, relacionada, sobretudo, à ocorrência de solos de textura arenosa (Neossolos Quartzarênicos). Logo, com alto risco de contaminação dos mananciais hídricos

freáticos por causa do elevado potencial de infiltração, devido à combinação do relevo suavizado e a alta condutividade hidráulica dos materiais sotopostos aos aquíferos subjacentes. Entretanto, em todas as regiões evidencia-se a predominância da classe de “alta” vulnerabilidade à contaminação por infiltração devido às vastas extensões de solos da classe Latossolo em modelados topográficos suavizados que dominam a paisagem na Mesorregião do Sul Goiano. Uma vez que, essas unidades pedológicas se caracterizam pela elevada porosidade e acentuada condutividade hidráulica permitindo a lixiviação e percolação profunda de materiais solúveis.

As classes de vulnerabilidade com “alto” ou “muito alto” risco de contaminação dos corpos hídricos de superfície, como os rios e lagoas, por carreamento da vinhaça por meio do escoamento superficial se encontram de forma mais distribuída e pontual nas microrregiões estudadas se relacionando aos solos, sob topografia mais movimentada, com menores níveis de condutividade hidráulica, mais rasos ou com impedimentos à infiltração e percolação devido a gradientes texturais.

Cabe salientar que os resultados apresentados neste estudo devem ser tomados com ressalvas, uma vez que, o modelo de referência adotado superestima em certa medida as áreas vulneráveis devido ao efeito de generalização das unidades de mapeamento em função da escala ao milionésimo do mapa de solos utilizado. Cumpre esclarecer que não se trata de um problema relacionado à metodologia nem tão pouco à condução do trabalho original realizado por Barbalho e Campos (2008) que objetivaram a avaliação da vulnerabilidade das terras quanto à contaminação por vinhaça em escala estadual, para todo o Estado de Goiás. Considerando a opção de se trabalhar com a escala de municípios e microrregiões, o modelo de referência adotado não apresenta o nível de detalhe ideal. No entanto, para efeito de demonstração da aplicação do Sistema de Indicadores, objetivo deste estudo de caso, considerou-se satisfatório a utilização do referido modelo.

Contudo, os resultados dos índices de vulnerabilidade refletem a tendência regional da ocorrência de grandes extensões de área com algum grau de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, notadamente dos aquíferos freáticos. Evidenciando, desta forma, o risco potencial de degradação dos recursos hídricos caso não sejam tomados os devidos cuidados no tratamento e disposição da vinhaça, assim como, no planejamento da prática de fertirrigação da cultura da cana-de-açúcar.

A tendência revelada pelos resultados deste estudo, de uma forma geral, se alinha aos resultados apresentados por Alves e Castro (2009) que estudaram e buscaram estimar a vulnerabilidade natural e risco dos solos à contaminação nas áreas de recarga do Aquífero

Guarani, no sudoeste do Estado de Goiás (SAG/GOIÁS), abrangendo os municípios de Jataí, Mineiros, Santa Rita do Araguaia e Serranópolis. Os referidos autores utilizaram um modelo espacializado baseado na mesma metodologia utilizada por Barbalho e Campos (2008), por meio da qual produziram um zoneamento com classes de vulnerabilidade e de risco estabelecidas a partir do cruzamento de mapas temáticos: Classes de declividade do terreno; pedológico associado aos dados de condutividade hidráulica das classes de solo; e, de uso e cobertura do solo. Avaliaram que 45% e 47% das áreas de recarga do aquífero possuem vulnerabilidade “muito alta” e “alta”, respectivamente, totalizando juntas mais de 90% da área total de recarga do aquífero Guarani no Estado de Goiás. Considerando o uso do solo, calcularam ainda que 32,8% da área do SAG apresentaram “alto risco” e 27,5% apresentam “muito alto risco”, em relação à possibilidade de poluição do referido aquífero associada às áreas com uso agropecuário intensivo. Concluíram os autores que a vulnerabilidade e o risco associados à área de recarga do SAG em Goiás são expressivos e, portanto, inspiram cuidados preventivos com o uso, manejo e conservação dos solos.

8.6.1.3 Avaliação do potencial hídrico das UTAs para o desenvolvimento da atividade canavieira.

A avaliação do potencial hídrico, ou seja, das condições gerais da disponibilidade hídrica para atender a demanda estimada da cultura da cana-de-açúcar, constitui o próximo passo lógico para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica das Unidades Territoriais de Análise para o desenvolvimento da atividade canavieira.

De maneira bastante simples, o que se busca saber é se a disponibilidade hídrica atende a demanda requerida para o desenvolvimento da atividade canavieira nas Unidades Territoriais de Análise. Ou, de outra forma, o quanto da disponibilidade hídrica seria comprometido ou seria necessário dispor para atender a demanda de água estimada para sustentar a expansão da atividade canavieira até o limite máximo dado pela área máxima favorável ou apta para o cultivo da cultura da cana-de-açúcar.

Com este propósito, o Módulo A do SISH-Cana apresenta dois indicadores que sinalizam para o grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda potencial da atividade canavieira de forma discriminada conforme o sistema de produção: Sistema de Sequeiro (SS) e Sistema de Irrigação Compulsória (SI). Os indicadores são: (i)

$ICDH_{GS}$ - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Geral para a Atividade Canaveieira em Sistema de Sequeiro; (ii) $ICDH_{GI}$ - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Geral para a Atividade Canaveieira em Sistema de Irrigação Compulsória.

O gráfico da figura 45 e a tabela 12 apresentam os valores absolutos da disponibilidade hídrica geral e da demanda hídrica potencial discriminada por sistema de produção e os valores relativos na forma dos indicadores correspondentes.

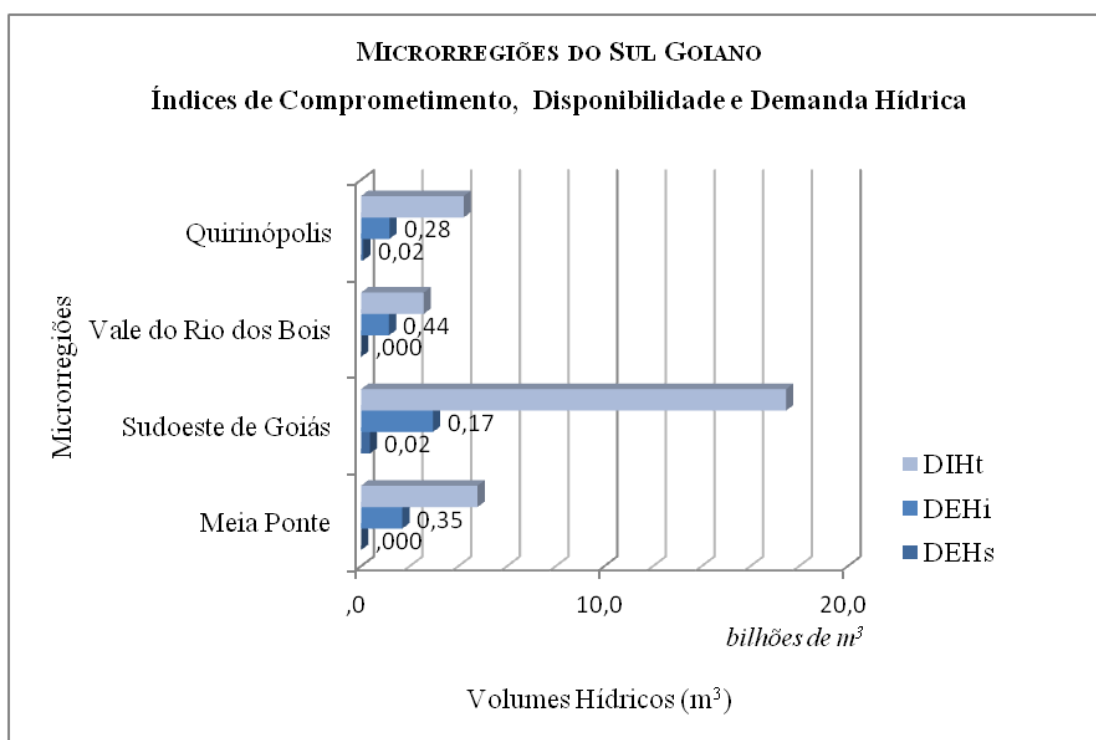


Figura 45 - Gráfico: Índices de comprometimento da disponibilidade hídrica, volumes disponíveis e demanda hídrica potencial da atividade canaveieira por sistema de produção e microrregião..

Nota: Legenda: (i) DIHt – Disponibilidade Hídrica Total; (ii) DEHi – Demanda Hídrica Potencial da Atividade Canaveieira em Sistema de Irrigação; (iii) DEHs - Demanda Hídrica Potencial da Atividade Canaveieira em Sistema de Sequeiro - Rótulos: (i) $ICDH_s$ - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveieira em sistema de Sequeiro; (ii) $ICDH_i$ - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveieira em sistema de Irrigação

A análise comparativa do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender as demandas projetadas da atividade canaveieira, tanto em sistema de sequeiro quanto de irrigação, permite destacar a microrregião Sudoeste de Goiás como a mais favorável, do ponto de vista da sustentabilidade hídrica, para o desenvolvimento da atividade sucroalcooleira. Visto que, apresentando o maior volume de água disponível (17,5 bilhões de m³ de água) e o menor percentual de comprometimento (17%) para o atendimento da

demanda potencial da cultura canavieira sob sistema de irrigação, o Sudoeste de Goiás possui, em termos relativos e absolutos, a condição mais favorável. Além disso, necessita dispor apenas de 2% do volume hídrico disponível em seu território para atender a demanda projetada para a produção potencial da cultura canavieira em sistema de sequeiro.

Tabela 12 - Índices de comprometimento da disponibilidade hídrica, volumes disponíveis e demanda hídrica potencial da atividade canavieira por sistema de produção e microrregião.

MICRORREGIÕES	VOLUMES HÍDRICOS (m ³)			INDICADORES	
	DEHs	DEHi	DIHt	ICDHs	ICDHi
Meia Ponte	0,00	1.694.909.884,10	4.783.706.702,51	0,00	0,35
Sudoeste de Goiás	361.966.449,15	2.951.832.508,94	17.463.527.703,30	0,02	0,17
Vale do Rio dos Bois	0,00	1.142.366.487,52	2.571.641.216,97	0,00	0,44
Quirinópolis	89.505.553,54	1.163.199.580,22	4.219.333.369,85	0,02	0,28
Totais	451.472.002,69	6.952.308.460,79	29.038.208.992,64	0,02	0,24

Nota: Áreas: (i) DIHt – Disponibilidade Hídrica Total; (ii) DEHi – Demanda Hídrica Potencial da Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (iii) DEHs - Demanda Hídrica Potencial da Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro - Indicadores: (i) ICDHs - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em sistema de Sequeiro; (ii) ICDHi - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em sistema de Irrigação.

Com um comprometimento na ordem de 2% e 24% da disponibilidade total de 4,2 bilhões de m³ de água para atender as demandas potenciais da produção canavieira nas áreas favoráveis ao sistema de sequeiro e de irrigação compulsória, Quirinópolis se notabiliza como a segunda microrregião mais favorável quanto à sustentabilidade hídrica.

A Microrregião de Meia Ponte, por sua vez, necessitaria dispor de 35% do volume hídrico total produzido em seu território para fazer frente à demanda potencial para produção agroindustrial da cana-de-açúcar conduzida totalmente em regime de irrigação suplementar.

Para a Microrregião do Vale do Rio dos Bois, onde a atividade canavieira também é totalmente dependente da prática da irrigação suplementar a situação se torna ainda mais grave, pois, 44% dos seus recursos totais de água disponível teriam que ser utilizados para atender toda a demanda projetada para a área considerada apta à cultura canavieira em seu território.

Analisando a região como um todo, observa-se que, para atender a demanda da atividade canavieira em sistema de irrigação suplementar, o comprometimento da disponibilidade hídrica regional atinge a ordem de 24%. Para atender a demanda projetada para a produção potencial em sistema de sequeiro o comprometimento da disponibilidade hídrica regional se limita a apenas 2% dos volumes totais disponíveis.

Considerando o exposto, nota-se que tanto os percentuais de comprometimento quanto a quantidade absoluta de água disponível variam bastante conforme as diferentes microrregiões, determinando para cada uma delas, diferentes condições de sustentabilidade hídrica.

Como a produção de água das bacias hidrográficas constitui uma função da precipitação média, justamente, as unidades onde a cultura da cana-de-açúcar é mais dependente da prática da irrigação são as que possuem, geralmente, a menor disponibilidade hídrica dos mananciais superficiais e subterrâneos. Exatamente, no presente caso, o que foi verificado nas microrregiões do Vale do Rio dos Bois e de Meia Ponte. Observação esta também verificada em Lima *et al.* (2008) que estudaram a variabilidade espaço-temporal da vazão específica média e em Silva *et al.* (2008) que avaliaram a oferta e a demanda hídrica para o cultivo da cana-de-açúcar, ambos, no Estado de Goiás. Desta forma, nessas áreas em especial, a margem de disponibilidade hídrica é consideravelmente menor e uma nova atividade agroeconômica em expansão, como a canavieira, pode aumentar a pressão e impactos sobre os recursos hídricos, causando o acirramento dos conflitos entre os diversos setores usuários de água.

Por outro lado, apesar do contraste entre as microrregiões estudadas, destaca-se que todas elas, potencialmente, produzem volumes hídricos suficientes para atender as demandas exigidas por uma possível expansão canavieira até o limite da área máxima considerada apta para a cultura canavieira em cada microrregião (Área Máxima de Expansão Sustentada). Convém salientar que esta condição de suficiência foi verificada considerando-se os volumes hídricos imediatamente alocáveis e os passíveis de acumulação prévia por meio da construção de reservatórios. Ou seja, na estimativa da disponibilidade hídrica total, considerou-se também a capacidade de aproveitamento dos excedentes hídricos produzidos nas estações de cheia.

Com o propósito de complementar a avaliação do potencial hídrico, foi realizada uma análise dos percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar, considerando apenas a disponibilidade hídrica alocável durante um período de três meses. Como explicitado na descrição da metodologia, item 7.1.4.1, a disponibilidade hídrica

alocável foi definida como sendo a metade da oferta hídrica estimada com base na probabilidade de permanência de 95%.

O gráfico da figura 46 e tabela 13 apresentam os percentuais de atendimento da demanda e os volumes hídricos totais referentes à disponibilidade hídrica alocável e à demanda hídrica para a irrigação suplementar de cada microrregião.

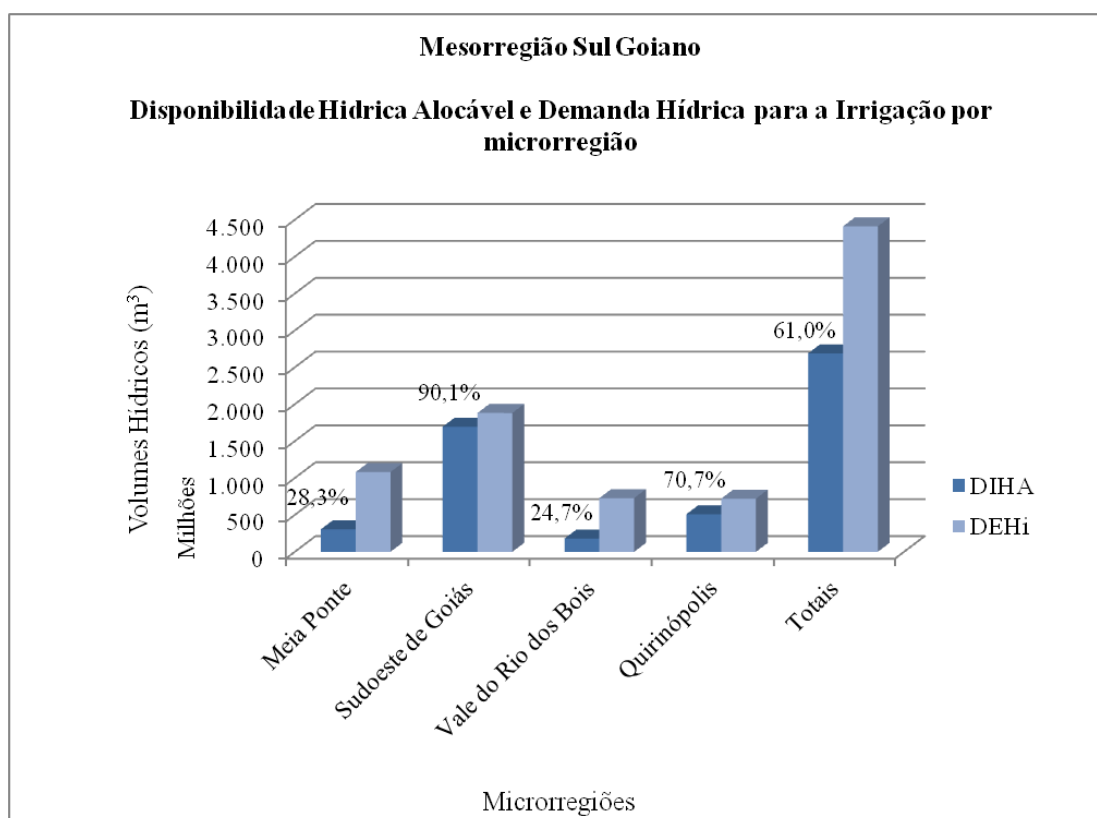


Figura 46 - Gráfico: Disponibilidade hídrica alocável e percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar da cultura canvieira por microrregião.

Nota: Legenda: (i) DHA – Disponibilidade Hídrica Alocável durante o período de 3 meses; (ii) DEHi - Demanda Hídrica para a Irrigação suplementar - Rótulos: Percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar considerando a disponibilidade hídrica alocável.

A análise dos resultados evidencia que, em todas as microrregiões, a disponibilidade hídrica estimada com base apenas nos volumes hídricos alocáveis, durante um período de 3 meses, é insuficiente para atender a demanda total para a prática da irrigação suplementar da cultura canvieira.

Tabela 13 - Disponibilidade hídrica alocável e percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar da cultura canieira por microrregião.

UTA	VOLUMES HÍDRICOS (m ³)		ATENDIMENTO DA DEMANDA (%)
	DHA	DEHi	AD
Meia Ponte	305.414.240,15	1.080.573.615,43	28,3
Sudoeste de Goiás	1.695.455.320,26	1.881.912.635,15	90,1
Vale do Rio dos Bois	180.093.190,64	728.304.848,03	24,7
Quirinópolis	509.605.793,64	720.395.389,44	70,7
Totais	2.690.568.544,69	4.411.186.488,05	61,0

Nota: DHA – Disponibilidade Hídrica Alocável durante o período de 3 meses; (ii) DEHi - Demanda Hídrica para a Irrigação suplementar; (iii) AD - Percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar considerando a disponibilidade hídrica alocável.

Considerando os volumes hídricos alocáveis em um período de três meses, na microrregião do Sudoeste de Goiás a situação continua mais favorável do que nas demais microrregiões, sendo possível o atendimento de até 90% da demanda posta para a generalização da prática da irrigação suplementar nas áreas que exigem irrigação. O valor mais expressivo da disponibilidade hídrica alocável, na ordem de 1,6 bilhões de m³ acumulados durante um trimestre, revela não somente o maior potencial de produção de água como também sugere a maior capacidade de regularização natural das bacias hidrográficas pertencentes à microrregião do Sudoeste de Goiás. Lima *et al.* (2008), que estudaram a variabilidade espaço-temporal da vazão específica média do Estado de Goiás, também destacaram a maior favorabilidade hídrica para a região sudoeste do estado, em termos de maior capacidade de geração de vazões, médias anuais e médias dos meses mais secos do ano.

De fato, esta afirmação parece ser consistente quando se observa a diferença entre os valores das vazões específicas médias de longo termo e as vazões específicas com 95% de permanência que reflete a capacidade natural de regularização das bacias. As vazões médias de longo termo e as de 95% de permanência refletem, respectivamente, o comportamento médio e o de base do regime de débitos, de modo que, quanto maior o percentual da vazão média que representa a vazão de base, maior será a capacidade de regularização natural das bacias e maiores serão os volumes hídricos alocáveis na estação de vazante (MARANHÃO

2007). A figura 47 e a Tabela 14 apresentam os valores das vazões médias de longo termo e as de 95% de permanência e os percentuais desta em relação á primeira, por microrregião.

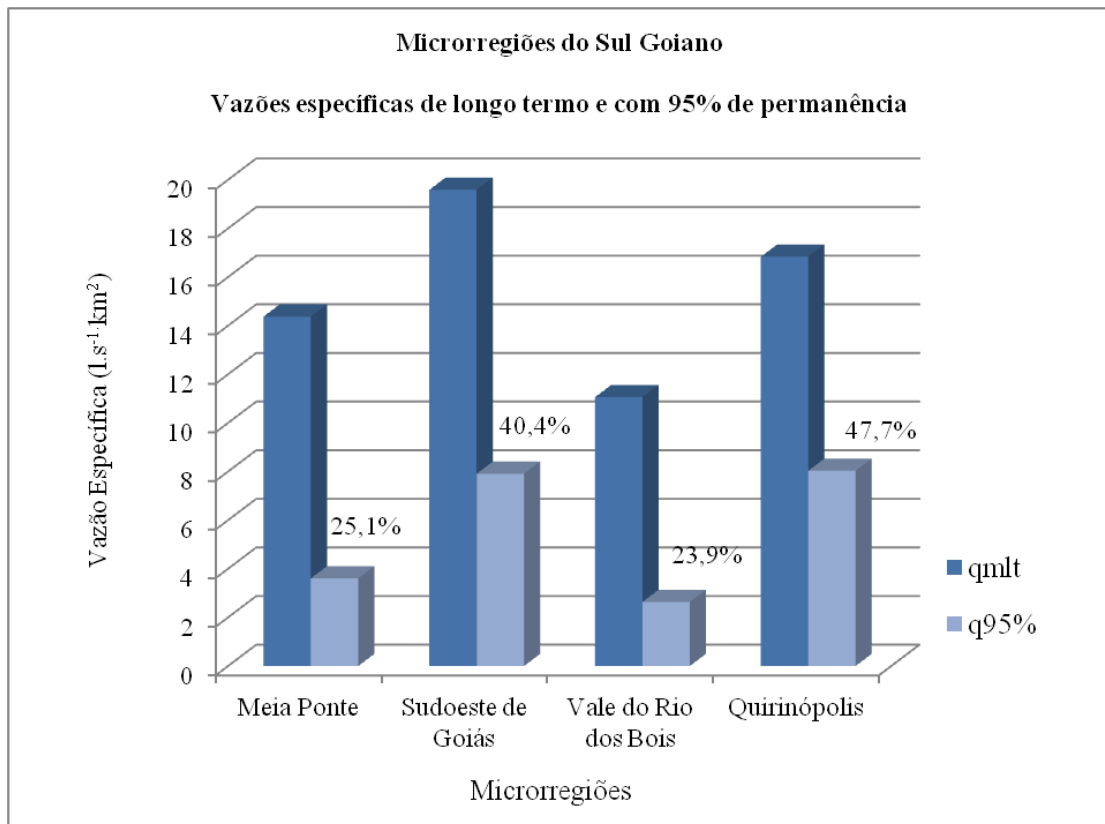


Figura 47 -Gráfico: Vazões específicas médias de longo termo, vazões específicas com 95% de permanência e percentuais.

Nota: Legenda: (i) qmlt - Vazões específicas médias de longo termo; (ii) Vazões específicas com 95% de permanência. Rótulos: Percentuais das vazões específicas com 95% de permanência em relação às vazões específicas médias de longo termo.

A exemplo da microrregião de Sudoeste de Goiás, Quirinópolis também apresenta maior capacidade de regularização natural dos seus sistemas fluviais e, conseqüentemente, uma disponibilidade hídrica mais regular durante o ciclo hidrológico, mesmo nas estações mais secas do ano.

Nas microrregiões de Meia Ponte e Vale do Rio dos Bois, além da menor capacidade de produção de água, também, pode-se observar que os volumes hídricos com permanência de 95% participam com menores percentuais no regime médio de vazões, significando menor capacidade de regularização natural e menores volumes hídricos diretamente alocáveis e disponíveis nas estações mais secas do ano.

Tabela 14 - Vazões específicas médias de longo termo, vazões específicas com 95% de permanência e percentuais.

MICRORREGIÕES	VAZÕES ESPECÍFICAS		PERCENTUAIS
	qmlt	q95%	%
Meia Ponte	14,38	3,61	25,1
Sudoeste de Goiás	19,59	7,91	40,4
Vale do Rio dos Bois	11,06	2,64	23,9
Quirinópolis	16,84	8,03	47,7

Nota: (i) qmlt - Vazões específicas médias de longo termo; (ii) Vazões específicas com 95% de permanência; (iii) Percentuais das vazões específicas com 95% de permanência em relação às vazões específicas médias de longo termo.

A situação de restrição da oferta hídrica, sobretudo, nas estações mais secas no Estado de Goiás também foi observada em Lima *et al.* (2008) que estudando a variabilidade espaço-temporal da vazão específica média estimaram valores de vazão específica média de longo período entre o intervalo de 10 a 20 l.s⁻¹.km². Para o mês de setembro, normalmente o mais seco do ano, os autores estimaram valores da vazão específica média inferiores a 2,5 e pouco acima de 10 l.s⁻¹.km², para o noroeste e o sudoeste do Estado de Goiás, respectivamente. Em outro estudo realizado por Silva *et al.* (2008) foi feita uma avaliação da oferta e da demanda hídrica para o cultivo da cana-de-açúcar no Estado de Goiás. Os autores ainda exemplificaram a situação de restrição da disponibilidade hídrica do mês de setembro estimando valores de apenas 0,6, 3,0 e 6,0% como sendo a área máxima capaz de ser irrigada simultaneamente em bacias hidrográficas hipotéticas de 1000 km² com vazões específicas de 1, 5 e 10 l.s⁻¹.km² e uma taxa de captação de água de 11 s⁻¹.ha⁻¹.

Os resultados da avaliação do potencial hídrico confirmam a favorabilidade, do ponto de vista da sustentabilidade hídrica, das microrregiões Sudoeste de Goiás e Quirinópolis como as mais promissoras para a expansão canavieira. Visto que, além de possuírem áreas onde a cultura pode ser cultivada em sistema de sequeiro, contam com volumes hídricos disponíveis mais elevados e regulares para suprir a demanda da cultura canavieira nas áreas de irrigação compulsória.

8.6.1.4 Avaliação do potencial das UTAs para a expansão sustentada da cultura canavieira.

A última categoria de análise, integrante da avaliação do potencial de desenvolvimento da atividade canavieira com sustentabilidade hídrica, diz respeito à avaliação do grau de atendimento da demanda hídrica projetada ou avaliação do potencial de expansão sustentada da atividade canavieira nas Unidades Territoriais de Análise em apreço. A avaliação do potencial de expansão sustentada constitui uma análise complementar da avaliação do potencial hídrico, tratado anteriormente, desta feita com base no grau de atendimento da demanda hídrica potencial requerida pela atividade canavieira. O potencial de expansão é estabelecido a partir da relação entre a área máxima de expansão sustentada da cultura canavieira, ou seja, com pleno atendimento da demanda hídrica projetada e, a área total favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação ou sequeiro, conforme o caso. Como foi apresentado anteriormente, o SISH-Cana destaca dois índices que indicam a proporção da área total favorável para cada sistema de produção que pode ser, efetivamente, cultivado com base na disponibilidade hídrica geral estimada para a unidade em apreço. Os indicadores são: (i) *IADH_S - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro*; (ii) *IADH_I - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação*.

A figura 48 e a Tabela 15 apresentam os resultados das áreas máximas de expansão para cada microrregião estudada com os respectivos Índices de Atendimento da Demanda Hídrica para Cultura Canavieira.

Observa-se que, para todas as microrregiões estudadas, como as áreas máximas de expansão se igualam às áreas favoráveis à cultura canavieira os *Índices de Atendimento da Demanda Hídrica para Cultura Canavieira* registraram valores máximos ($IADH = 1,0$), significando que a demanda projetada de água para a produção potencial da cultura canavieira na região estudada pode ser, a princípio, totalmente atendida. Ou seja, com atendimento de 100% da demanda de água exigida para a prática da irrigação e para o processamento agroindustrial da produção potencial da cana-de-açúcar.

Contudo, como visto anteriormente, a despeito do atendimento total da demanda hídrica, em alguns casos, foram registrados expressivos percentuais de comprometimento da disponibilidade hídrica geral. Portanto, deve-se ter cautela na interpretação dos resultados, tendo claro em mente que os índices IADHs indicam a sustentabilidade hídrica potencial, no sentido restrito de atendimento da demanda hídrica de uma única atividade agroeconômica, avaliada de forma isolada, não levando em consideração as demais demandas instaladas ou potenciais, relacionadas a outras atividades econômicas, abastecimento público e demais tipos de uso da água.

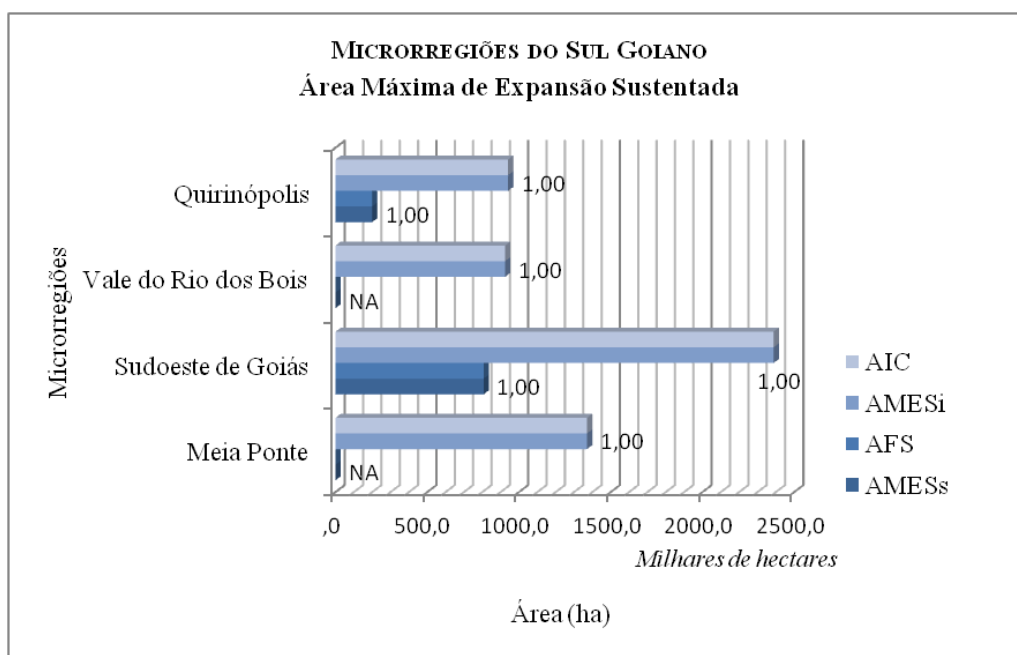


Figura 48 - Gráfico: Áreas máximas de expansão sustentada por microrregião e índices de atendimento da demanda hídrica para a cultura canaveieira.

Nota: Legenda: (i) AIC – Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canaveieira; (ii) AMESi – Área Máxima de Expansão para a Cultura Canaveieira em Sistema de Irrigação; (iii) Área Favorável à Cultura Canaveieira em Sistema de Sequeiro (iv) AMESs - Área Máxima de Expansão para Cultura Canaveieira em Sistema de Sequeiro. Rótulos: (i) IADHI - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para Cultura Canaveieira em Sistema de Irrigação; (ii) IADHI - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para Cultura Canaveieira em Sistema de Sequeiro.

De qualquer forma, considerando a capacidade total de produção de água, dada pelas vazões permanentes durante 95% do tempo do ciclo hidrológico somadas àquelas referentes ao aproveitamento dos volumes hídricos médios excedentes, as microrregiões possuem, em termos gerais, pleno potencial de expansão sustentada. Cabe esclarecer que os indicadores IADH descrevem a situação geral encontrada nas UTAs, sendo, portanto, apropriados para a avaliação no nível de gestão estratégica. Entretanto, não se deve perder de vista que, em uma escala de observação mais detalhada a disponibilidade hídrica de forma localizada pode não se apresentar tão favorável, assim como, a pressão sobre os recursos hídricos por conta de uma possível expansão da cultura canaveieira pode ser bastante elevada se for considerado, em alguns casos, os elevados graus de comprometimento dos volumes hídricos disponíveis.

Tabela 15 - Áreas máximas de expansão sustentada por microrregião e indicadores correspondentes.

UTA	ÁREAS (ha)				INDICADORES	
	Microrregiões	AMESs	AFS	AMESi	AIC	IADH _s
Meia Ponte	0,00	0,00	1.371.286,31	1.371.286,31	NA	1,00
Sudoeste de Goiás	807.960,82	807.960,82	2.388.214,00	2.388.214,00	1,00	1,00
Vale do Rio dos Bois	0,00	0,00	924.244,73	924.244,73	NA	1,00
Quirinópolis	199.789,18	199.789,18	941.099,98	941.099,98	1,00	1,00
Totais	1.007.750,01	1.007.750,01	5.624.845,03	5.624.845,03	1,00	1,00

Nota: Áreas: (i) AIC – Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canaveira; (ii) AMESi – Área Máxima de Expansão para a Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação; (iii) Área Favorável à Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro (iv) AMESs - Área Máxima de Expansão para Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro. Indicadores: (i) IADHI - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação; (ii) IADHI - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro.

8.6.2 Estudo 2: Descrição sintética do potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canaveira nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.

Tomando-se, em conjunto, os indicadores do Módulo A do SISH-Cana , se torna possível realizar uma síntese descritiva das Unidades Territoriais de Análise em relação ao potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canaveira. Assim sendo, o presente item apresenta um estudo cujo objetivo foi descrever de forma sintética as diferentes microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte, caracterizando-as quanto ao potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da cultura canaveira.

Os resultados dos indicadores foram reunidos na forma de gráficos do tipo radar, apresentados nas figuras 49 e 50 bem como na tabela 16.

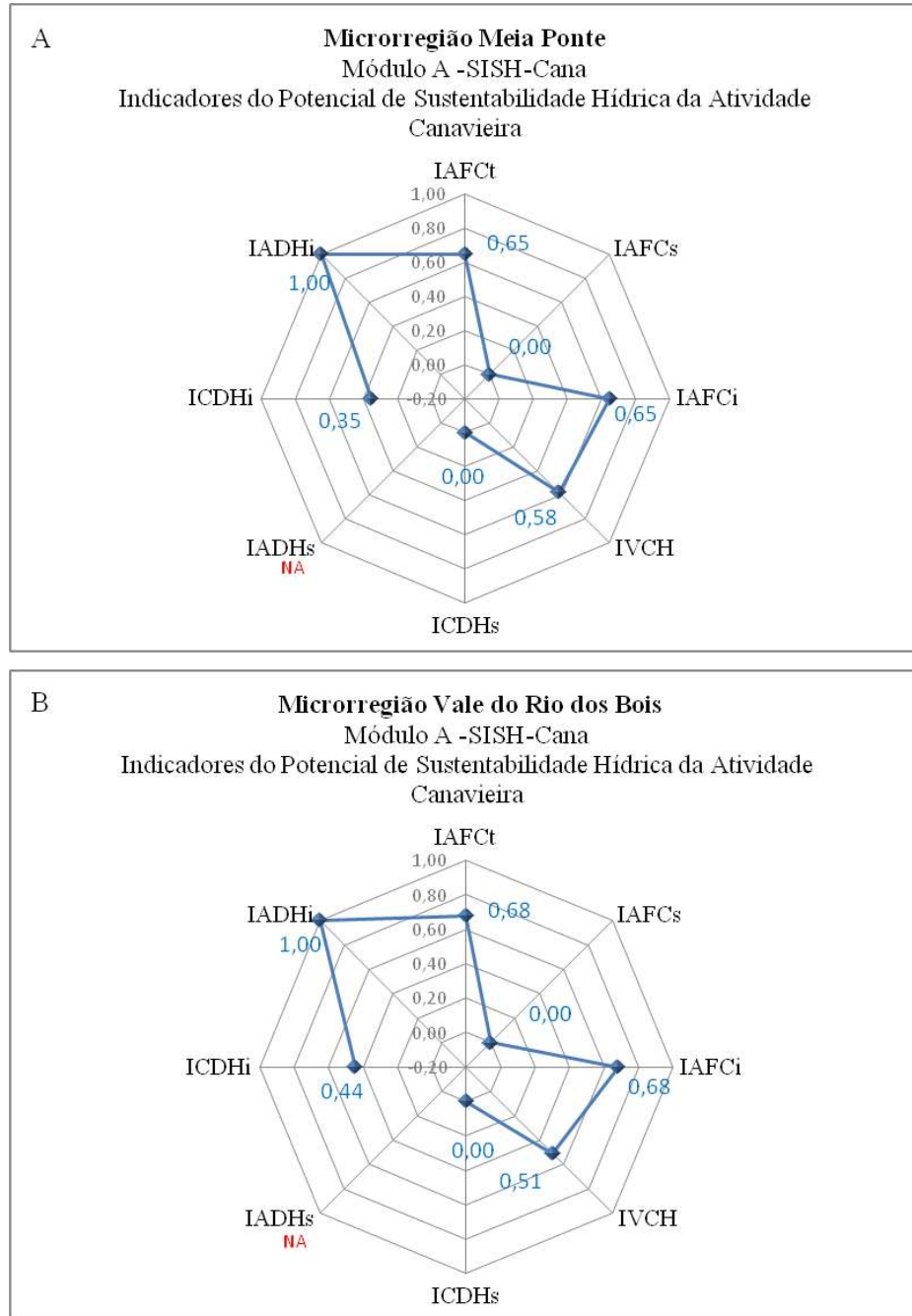


Figura 49 - Gráficos: Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira (Módulo A do SISHM-Cana) para as microrregiões Meia Ponte (A) e Vale do Rio dos Bois (B).

Nota: Indicadores: (i) IAFCT - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFCS - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAFCI - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (iv) IVCH – Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos (v) ICDHS - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (vi) IADHS - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro (vii) ICDHI - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação. (viii) IADHI - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

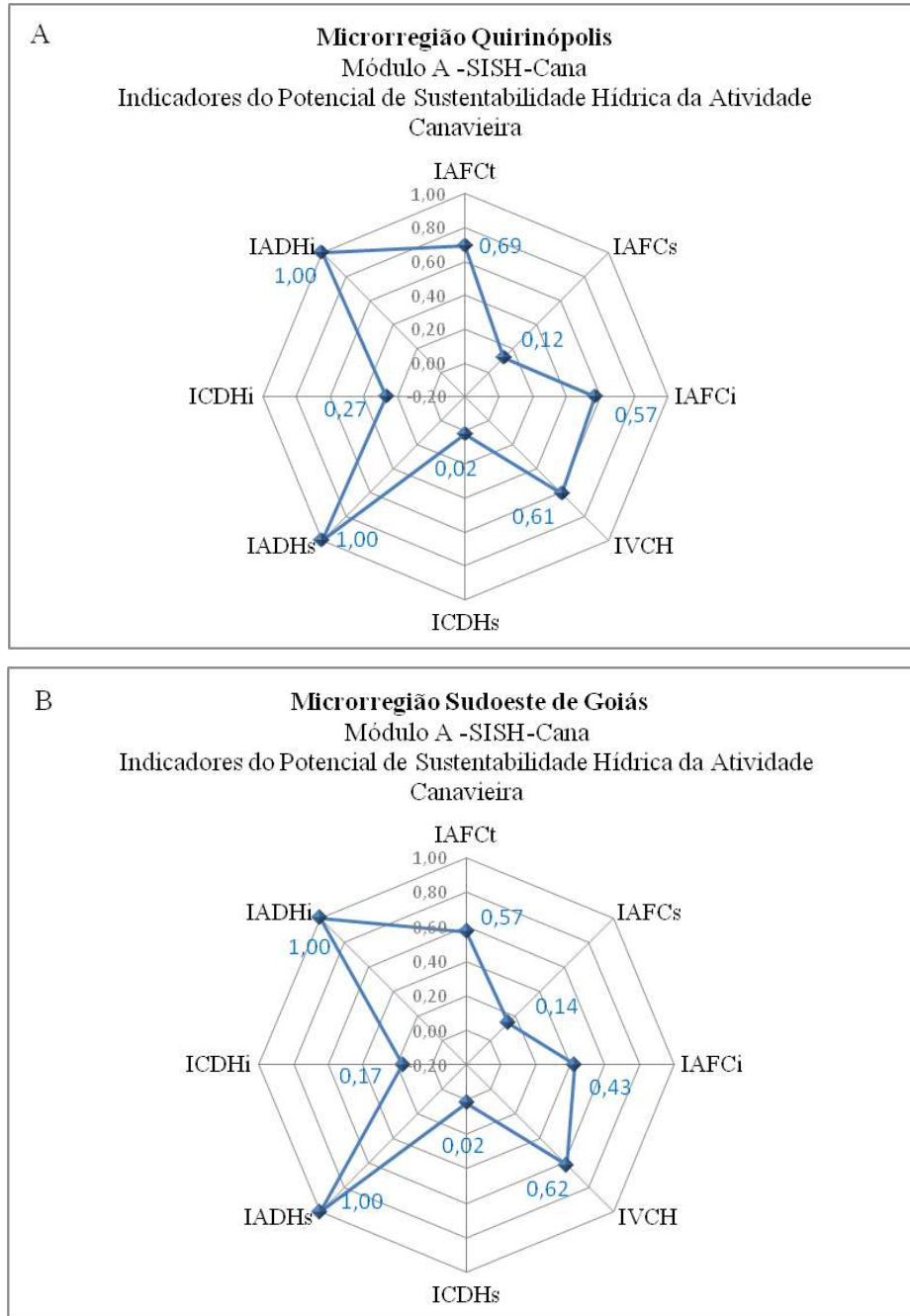


Figura 50 - Gráficos: Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canaveieira (Módulo A do SISH-Cana) para as microrregiões de Quirinópolis (A) e Sudoeste de Goiás (B).

Nota: Indicadores: (i) $IAFC_T$ - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canaveieira; (ii) $IAFC_S$ - Índice de Área Favorável à Cultura Canaveieira em Sistema de Sequeiro; (iii) $IAFC_I$ - Índice de Área Favorável à Cultura Canaveieira em Sistema de Irrigação Compulsória (iv) $IVCH$ - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos (v) $ICDH_S$ - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveieira em Sistema de Sequeiro; (vi) $IADH_S$ - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para a Atividade Canaveieira em Sistema de Sequeiro (vii) $ICDH_I$ - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveieira em Sistema de Irrigação. (viii) $IADH_I$ - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para a Atividade Canaveieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

Tabela 16 - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira por microrregião.

UTA		INDICADORES						
Microrregiões	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
Meia Ponte	0,65	0,00	0,65	0,58	0,00	NA	0,35	1,00
Sudoeste de Goiás	0,57	0,14	0,43	0,62	0,02	1,00	0,17	1,00
Vale do Rio dos Bois	0,68	0,00	0,68	0,51	0,00	NA	0,44	1,00
Quirinópolis	0,69	0,12	0,57	0,61	0,02	1,00	0,27	1,00

Nota: Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAFC_I - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (iv) IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos (v) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro (vii) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação. (viii) IADH_I - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

Interpretando os indicadores em conjunto, pode-se descrever e sumarizar o potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira de cada microrregião como se segue:

- **Meia Ponte** - Possuindo um índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos por vinhaça de 0,58, a microrregião Meia Ponte possui 65% do seu território favorável ao desenvolvimento da cultura canavieira conduzida, exclusivamente, em sistema de irrigação compulsória, cuja demanda potencial compromete 35% do volume hídrico total disponível, mas, com atendimento pleno da demanda hídrica projetada e potencial de expansão sustentada de 100% da área total favorável ou apta para a cultura canavieira com sistema de irrigada suplementar;
- **Sudoeste de Goiás** - Possuindo um índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos por vinhaça de 0,62, a microrregião Sudoeste de Goiás possui 68% do seu território favorável ao desenvolvimento da cultura canavieira, sendo 43% em sistema de irrigação compulsória e 14% favorável ao sistema de sequeiro. Possui potencial de expansão sustentada de 100% da área total favorável ou apta para os dois

sistemas de produção canavieira com comprometimento de 2% e 17% do volume hídrico total disponível para atender plenamente as demandas projetadas para os sistemas de sequeiro e de irrigação compulsória, respectivamente;

- **Vale do Rio dos Bois** - Possuindo um índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos por vinhaça de 0,51, a microrregião Vale do Rio dos Bois possui 57% do seu território favorável ao desenvolvimento da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação compulsória. Possui potencial de expansão sustentada de 100% da área total favorável ou apta para produção canavieira irrigada com comprometimento de 44% do volume hídrico total disponível para atender plenamente a demanda projetada;
- **Quirinópolis** - Possuindo um índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos por vinhaça de 0,61, a microrregião de Quirinópolis possui 69% do seu território favorável ao desenvolvimento da cultura canavieira, sendo 57% em sistema de irrigação compulsória e 12% favorável ao sistema de sequeiro. Possui potencial de expansão sustentada de 100% da área total favorável ou apta para os dois sistemas de produção canavieira com comprometimento de 2% e 27% do volume hídrico total disponível para atender plenamente as demandas projetadas para os sistemas de sequeiro e de irrigação compulsória, respectivamente;

8.6.3 Estudo 3: Avaliação analítica do processo de expansão da cultura canavieira ocorrida no período de 2005/2006 a 2010/2011 nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.

A avaliação do processo de expansão da cultura da cana-de-açúcar visa indicar de que maneira está ocorrendo o desenvolvimento da atividade canavieira na região de interesse. A partir da utilização dos indicadores do Módulo B do SISH-Cana e das grandezas físicas que os determinam se torna possível realizar uma avaliação analítica do processo de expansão da cultura canavieira ocorrido em determinado período em diferentes Unidades Territoriais de Análise.

Desta forma, para exemplificar a aplicação dos indicadores de avaliação do processo de expansão da atividade canavieira, o presente item apresenta um estudo cujo objetivo consistiu na realização de uma avaliação analítica do processo de expansão da cultura

canavieira ocorrido no período de 2005/2006 a 2010/2011 nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte

O procedimento analítico para a avaliação do processo de expansão da cultura canavieira compõe-se dos seguintes tópicos: (i) Avaliação da área de ocupação, intensidade e adequação do processo de expansão da cultura canavieira; (ii) *Avaliação do processo de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa*; (iii) Monitoramento do processo de expansão sustentada da cultura canavieira.

8.6.3.1 Avaliação da área de ocupação, intensidade e adequação do processo de expansão da cultura canavieira.

O primeiro passo necessário para a avaliação do processo de desenvolvimento sustentável da atividade canavieira é, exatamente, obter a informação sobre o estágio atual de ocupação da cultura canavieira nas Unidades Territoriais de Análise adotadas. Igualmente relevante é saber como e com qual intensidade o processo de expansão da cultura canavieira está ocorrendo na UTA em apreciação. Assim sendo, o Módulo B do SISH-Cana apresenta três índices que indicam os processos em curso e a situação atual da UTA quanto à ocupação e expansão da cultura canavieira. Os indicadores são: (i) *IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canavieira*; (ii) *IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira*; (iii) *IEAC - Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira*.

A figura 51 e a tabela 17 apresentam os valores absolutos das áreas de ocupação e de expansão com os respectivos indicadores por microrregião.

A observação da situação da cultura da canavieira no ano agrícola de 2010/2011 revela que, em termos absolutos, a microrregião de Sudoeste de Goiás com, aproximadamente, 153 mil hectares, possui a maior área atualmente ocupada com a cultura da cana-de-açúcar, seguida das microrregiões de Meia Ponte, Quirinópolis e Vale do Rio dos Bois com 150, 104 e 80 mil hectares, respectivamente.

Em termos relativos, as proporções de ocupação da cultura canavieira nas microrregiões estudadas ainda são relativamente pequenas em relação às áreas totais dos seus territórios. Destacam-se as microrregiões de Sudoeste de Goiás, com 3%, e a de Meia Ponte com 7%, como a de menor e maior proporção de área ocupada com a cultura canavieira.

Quirinópolis e Vale do Rio dos Bois possuem valores intermediários, figurando, ambas, com 6% dos seus territórios ocupados com a cultura da cana-de-açúcar.

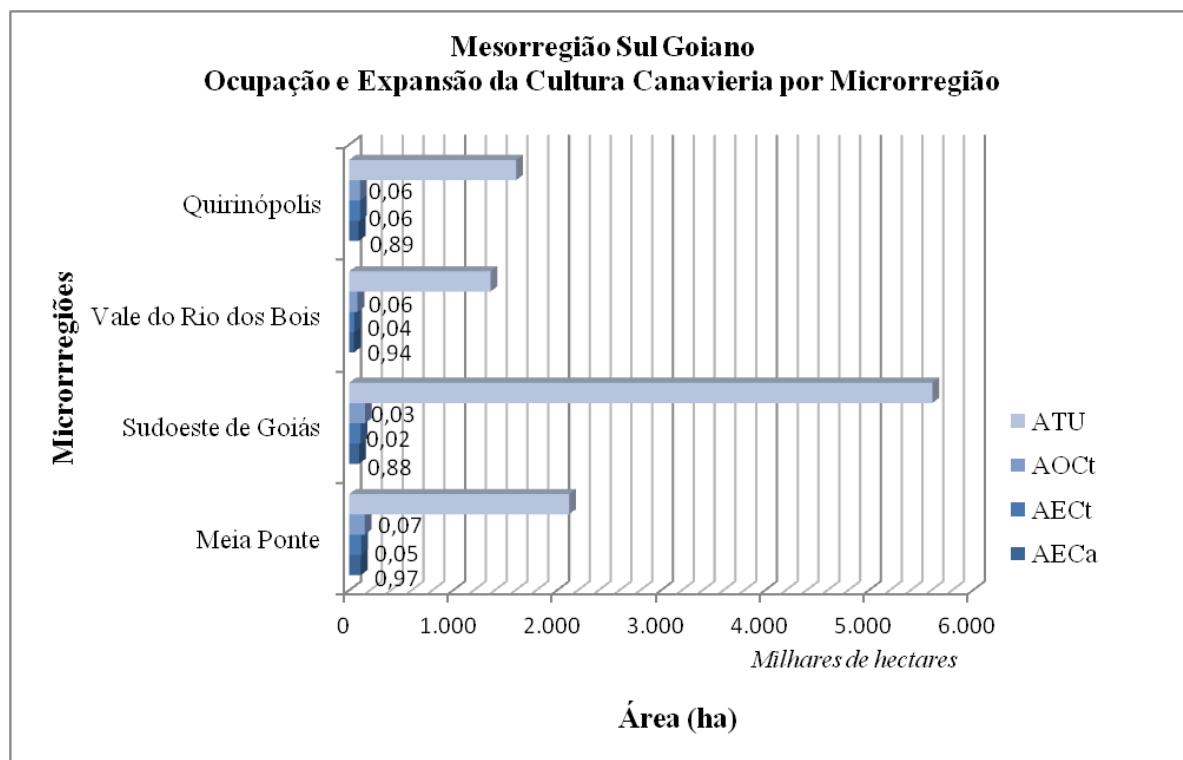


Figura 51 - Gráfico: Áreas de ocupação, expansão total, expansão adequada e indicadores correspondentes.

Nota: Legenda - Áreas: (i) ATU – Área Total da Unidade Territorial de Análise (S_{UTA}); (ii) AOCt – Área Total de Ocupação da Cultura Canavieira (S_{OC}); (iii) AECt – Área Total de Expansão Cultura Canavieira (S_{EC}); (iv) AECa - Área de Expansão Adequada da Cultura Canavieira (S_{EA}). - Rótulos - Indicadores: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) IEAC – Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira.

Contudo, a despeito dos valores percentuais de ocupação da cultura da cana-de-açúcar ainda serem relativamente pequenos, devido às grandes extensões territoriais das microrregiões estudadas, o processo de expansão foi bastante expressivo, tendo sido convertidos para as quatro microrregiões cerca de 380 mil hectares à cultura canavieira no período de 2005/2006 a 2010/2011. Neste particular, Quirinópolis registra um processo vertiginoso, onde os 104 mil ha atualmente cultivados com a cultura da cana-de-açúcar foram sendo agregados à atividade canavieira justamente no período 2005/2006 a 2010/2011. Nas demais microrregiões, o processo de expansão no período foi igualmente acentuado, tendo sido convertidos 2, 4 e 5% das áreas totais à cultura canavieira, equivalendo a 109, 50 e 116 mil hectares para Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Meia Ponte, respectivamente.

Tabela 17 - Áreas de ocupação, expansão Total, expansão adequada e indicadores correspondentes.

UTA	ÁREAS (ha)				INDICADORES		
	AECa	AECt	AOct	ATU	IOCC	IECC	IEAC
Meia Ponte	112.638,65	116.343,94	150.154,94	2.116.556,00	0,07	0,05	0,97
Sudoeste de Goiás	96.615,54	109.854,32	153.425,32	5.611.153,00	0,03	0,02	0,88
Vale do Rio dos Bois	47.180,07	50.173,93	80.908,93	1.360.860,00	0,06	0,04	0,94
Quirinópolis	92.668,38	104.436,81	104.436,81	1.606.810,00	0,06	0,06	0,89
Totais	349.102,64	380.809,00	488.926,00	10.695.379,00	0,05	0,04	0,92

Nota: Áreas: (i) ATU – Área Total da Unidade Territorial de Análise; (ii) AOct – Área Total de Ocupação da Cultura Canavieira; (iii) Área Total de Expansão Cultura Canavieira; (iv) AECa - Área de Expansão Adequada da Cultura Canavieira. Indicadores: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) IEAC – Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira.

Cabe salientar que, para a correta interpretação da magnitude do processo de expansão para o qual o indicador IECC aponta, deve-se ter claro em mente a ordem de grandeza da área total da Unidade Territorial de Análise que se esta apreciando. Visto que os Índices de expansão da cultura canavieira expressam justamente a proporção das áreas de expansão em relação a áreas totais das UTAs. Por esta razão, valores percentuais, como os registrados, podem parecer pouco expressivos, mas, se referem a aumentos de área em valores absolutos consideráveis. Por esta razão e para melhor observar o processo de expansão que ocorreu nas microrregiões estudadas, durante o período especificado, o gráfico da figura 52 apresenta os valores, ano a ano, das áreas ocupadas com a cultura canavieira.

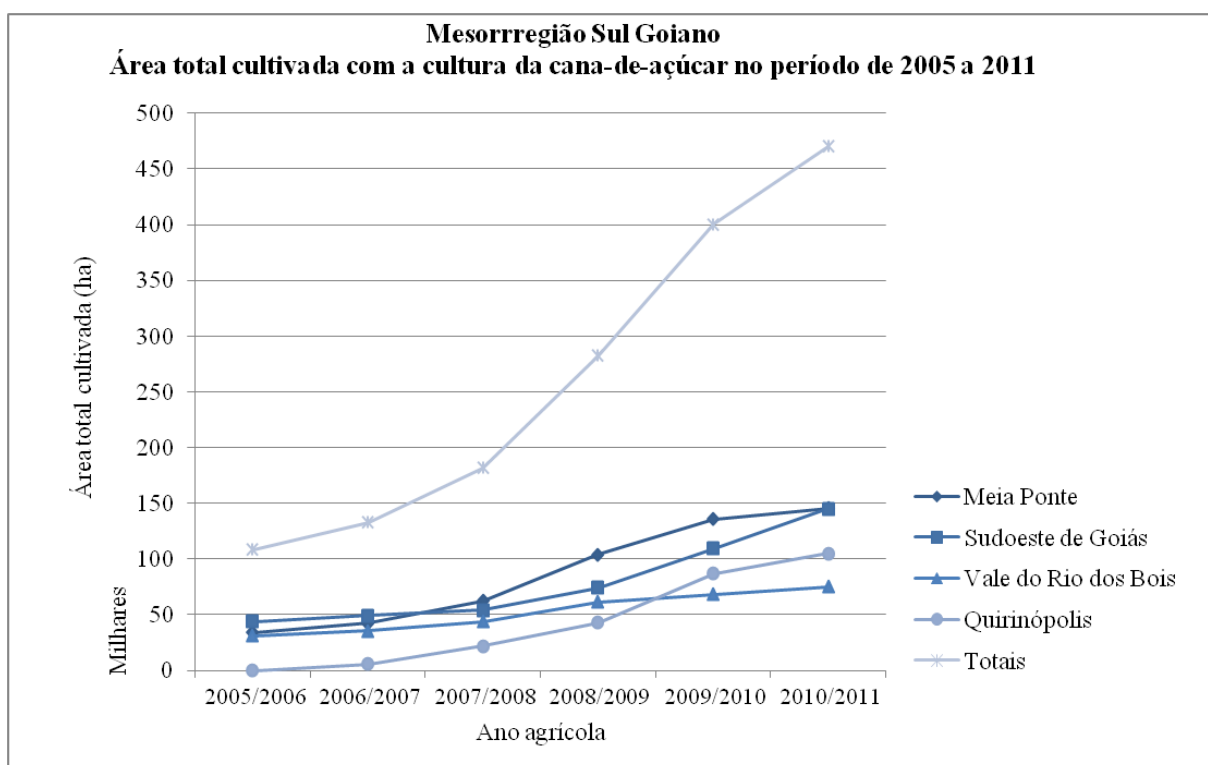


Figura 52 - Gráfico: Evolução das áreas cultivadas com a cultura canvieira entre o período dos anos agrícolas de 2005/2006 e 2010/2011, por microrregião e total.

Nota: Fonte: CANASAT (INPE)

A observação das curvas do gráfico da figura 37 revela que as taxas de crescimento da cultura canvieira, para todas as microrregiões estudadas, se acentuaram a partir do ano agrícola de 2007/2008.

Interessante notar também que o processo de expansão no período estudado em todas as microrregiões ocorreu, majoritariamente, sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas para cultura canvieira de acordo com os critérios de aptidão adotados. Deste modo, para as microrregiões de Meia Ponte, Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Quirinópolis o processo de expansão ocorreu de maneira adequada em 97, 88, 94, 89% das áreas totais de expansão registradas, respectivamente.

Os valores dos *Índices de Expansão Adequada da Cultura Canvieira* registrados para as microrregiões e período estudados sugerem que, além da elevada oferta de áreas favoráveis, o setor sucroalcooleiro de forma articulada e planejada tem prioritariamente avançado sobre as melhores áreas, justamente, aquelas com declividades inferiores a 12% e com solos de aptidão preferencial e moderada, onde se torna possível desenvolver a atividade canvieira com alto nível tecnológico. Os indicadores também permitem concluir que, potencialmente, em 92% da área total plantada pode ser empregada a colheita mecanizada,

diminuindo, por um lado, os efeitos negativos da queima da palhada da cana-de-açúcar, mas por outro, os postos de trabalho relacionados à substituição da colheita manual.

8.6.3.2 Avaliação do processo de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa.

Além do estágio atual de ocupação, intensidade e adequação do processo de expansão da cultura canavieira em uma dada Unidade Territorial de Análise, pra a gestão territorial é importante obter também informações sobre as mudanças de uso do solo que estão ocorrendo em função do processo de expansão da cultura canavieira. Ou seja, é importante indicar quais são as atividades agropecuárias que estão perdendo área para a cultura da cana-de-açúcar no processo de expansão da atividade canavieira.

Deste modo, o Módulo B do SISH-Cana oferece três indicadores similares que estabelecem as proporções de substituição das principais categorias de uso e cobertura do solo pela cultura da cana-de-açúcar, em relação à área total de expansão da cultura canavieira. Os indicadores são: (i) *ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas*; (ii) *ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens*; (iii) *ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa*.

A figura 53 e a tabela 18 apresentam os resultados em termos de áreas absolutas e os indicadores correspondentes.

Cumprе ressaltar que os valores dos indicadores ISAA, ISAP e ISVN, apresentados no presente estudo de caso, devem ser tomados com certo cuidado e reserva, uma vez que, como explicitado anteriormente, a metodologia utilizada a partir da interseção das bases derivadas do mapa de uso e cobertura do PROBIO e dos dados de monitoramento do CANASAT não permitiu obter elevada acurácia na estimativa qualificada das áreas substituídas. Sobretudo, na estimativa das áreas de supressão de vegetação nativa que, por serem obtidas pela interseção de polígonos normalmente menores, podem ter ocorrido erros proporcionalmente maiores. Entretanto, considerando o fato de se tratar de indicadores orientados ao nível estratégico e para efeito de demonstração da aplicação do sistema de indicadores, ora em proposição, considerou-se satisfatório os valores apresentados como estimadores da ordem de grandeza e determinação da tendência geral do processo de mudança de uso do solo que se desejou descrever.

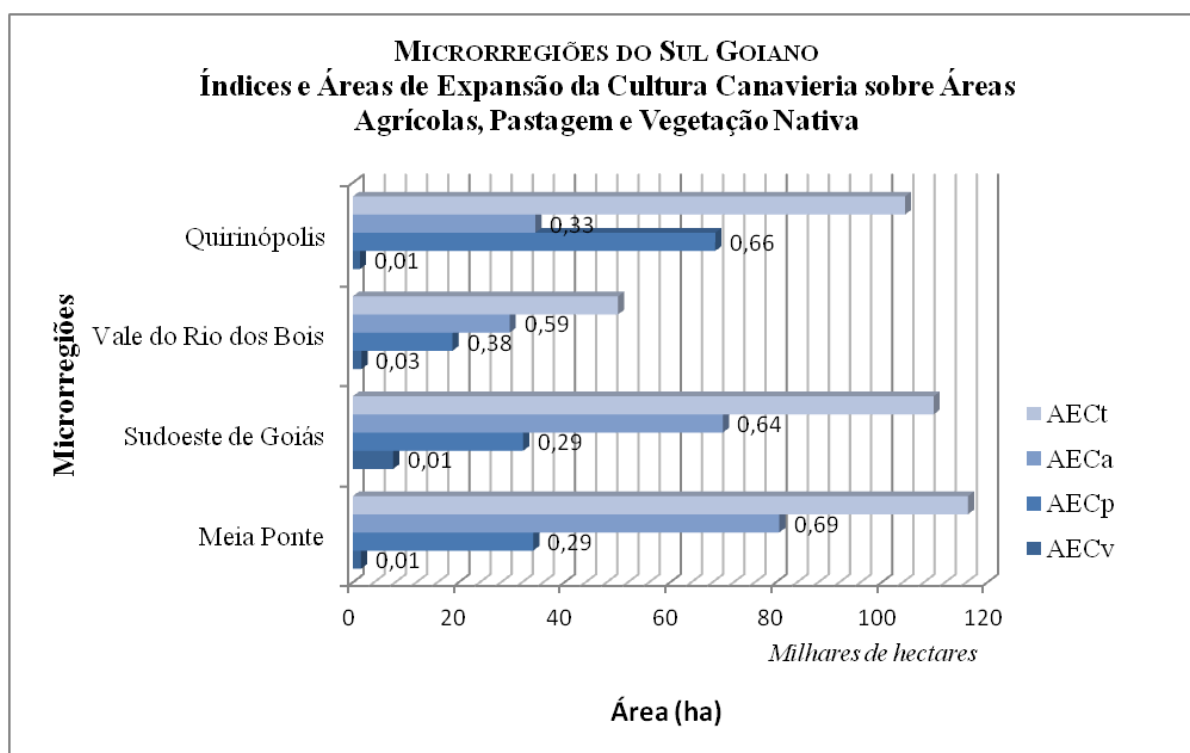


Figura 53 - Gráfico: Índices e áreas de expansão da cultura canavieira sobre áreas agrícolas, pastagens e vegetação nativa.

Nota: Legenda - Áreas: (i) ATU – Área Total da Unidade Territorial de Análise; (ii) AECa - Área de Expansão da Cultura Canavieira sobre Áreas de Culturas Agrícolas; (iii) AECp - Área de Expansão da Cultura Canavieira sobre Áreas de Pastagem; (iv) Área de Expansão da Cultura Canavieira sobre Áreas de Vegetação Nativa. Rótulos - Indicadores: (i) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (ii) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (iii) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa.

Variando entre 1% e 7% da área total de expansão registrada no período, os percentuais de supressão de vegetação nativa para abrir lugar para a cultura canavieira demonstram que o processo da expansão canavieira na mesorregião estudada está ocorrendo, prioritariamente, em áreas antropizadas que já vem sendo utilizadas com agricultura ou pecuária.

Considerando as quatro microrregiões em conjunto, os indicadores de mudança de uso do solo revelam que durante o período dos anos agrícolas de 2005/2006 a 2010/2011, 56% da área de expansão da cultura canavieira ocorreu sobre áreas antes ocupadas por culturas agrícolas, 40% sobre áreas de pastagens e, em apenas 3% da área houve supressão de vegetação nativa para dar lugar à cultura da cana-de-açúcar.

Tabela 18 - Índices e áreas de expansão da cultura canavieira sobre áreas agrícolas, pastagens e vegetação nativa.

UTA	ÁREAS (ha)				INDICADORES		
	AECv	AECp	AECa	AECt	ISAA	ISAP	ISVN
Meia Ponte	1.563,11	34.130,53	80.650,30	116.343,94	0,69	0,29	0,01
Sudoeste de Goiás	7.634,11	32.230,61	69.989,61	109.854,32	0,64	0,29	0,07
Vale do Rio dos Bois	1.661,58	18.846,85	29.665,49	50.173,93	0,59	0,38	0,03
Quirinópolis	1.354,02	68.562,89	34.519,91	104.436,81	0,33	0,66	0,01
Totais	12.212,82	153.770,88	214.825,30	380.809,00	0,56	0,40	0,03

Nota: Áreas - (i) ATU – Área Total da Unidade Territorial de Análise; (ii) AECa - Área de Expansão da Cultura Canavieira sobre Áreas de Culturas Agrícolas; (iii) AECp - Área de Expansão da Cultura Canavieira sobre Áreas de Pastagem; (iv) Área de Expansão da Cultura Canavieira sobre Áreas de Vegetação Nativa. Indicadores: (i) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (ii) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (iii) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa.

Observando cada microrregião em particular, com a exceção de Quirinópolis, onde a área de substituição de pastagens foi o dobro da área de substituição de culturas agrícolas, 66% e 33%, respectivamente, as demais microrregiões seguiram a tendência regional, registrando valores superiores para a substituição de áreas agrícolas do que para as de pastagem pela cultura da cana-de-açúcar.

A tendência de mudança de uso do solo verificada nas microrregiões de interesse, onde se observa principalmente a conversão de áreas agrícolas em monocultura da cana-de-açúcar, tem sido relatada em diversos trabalhos relacionados à expansão canavieira na região Centro-Oeste do Brasil.

Silva e Miziara (2010) *apud* Castro (2010) estudaram o potencial de mudança de uso do solo em função da localização das usinas sucroalcooleiras instaladas no Estado de Goiás. A partir da sobreposição de um raio de influência de 40 km ao redor de cada usina registrada no MAPA sobre o mapa de Uso e Cobertura do Solo (PROBIO, 2002), os autores estimaram que o processo de expansão canavieira, potencialmente, induziu ou esta induzindo a perda de 14,38% de áreas agrícolas, 7,69% de vegetação nativa de Cerrado e, por fim, 3,67% de pecuária, em relação às áreas estimadas no ano base de 2002. Os autores identificaram duas situações contrastantes para o Estado de Goiás, destacando que na porção norte do estado, a

expansão canavieira está ocorrendo, predominantemente, sobre as áreas de vegetação nativa de Cerrado e, na porção sul, ocorrendo em substituição às áreas tradicionalmente utilizadas para a produção agropecuária.

Utilizando técnicas de sensoriamento remoto, com imagens de satélites LANSAT dos anos de 2007 e 2008, Nassar *et al* (2008) avaliaram o processo de conversão de áreas ocupadas com culturas agrícolas e pecuária para a cultura da cana-de-açúcar nos estados do Paraná, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Através de uma matriz de competição entre as diferentes atividades agropecuárias, os autores observaram que, especificamente no Cerrado, a principal competição tem sido entre o sistema de produção soja/milho com a cultura da cana-de-açúcar e desta com as pastagens. Totalizando uma área de expansão de aproximadamente 885,42 mil hectares, os autores verificaram que, no biênio estudado, em todos os estados o processo de expansão da monocultura canavieira ocorreu majoritariamente por meio da conversão de áreas antes ocupadas com culturas agrícolas anuais. Estimaram, para todos os estados, a substituição de 56% e 50% de áreas agrícolas e 42% e 48% de áreas com pastagens, convertidas à cultura da cana-de-açúcar nos anos de 2007 e 2008, respectivamente. Entretanto, observam os autores que no ano de 2008, para todos os estados com a exceção de Goiás, houve um aumento relativo da substituição de áreas de pastagem. Especificamente, para o Estado de Goiás os autores apresentaram valores de conversão de áreas agrícolas e áreas com pastagem da ordem de 70% e 30% para o ano de 2007, e, 76% e 24% para o ano de 2008, respectivamente, indicando ter havido, ao contrário dos demais estados, um intensificação da substituição das áreas com culturas agrícolas. Valores estes muito próximos dos determinados pelos índices de mudança de uso do solo do Sistema de Indicadores ora em apresentação. Destacam ainda, que MG e GO foram os estados onde o processo de expansão da cultura canavieira, no período estudado, foi mais intenso.

Estudos mais localizados na mesorregião, Sul do Estado de Goiás, de interesse deste trabalho, também revelam a mesma tendência. Abdala e Castro (2010), analisando a evolução do uso do solo na Microrregião de Meia Ponte através de imagens de satélite LANDSAT TM5, observaram que, no primeiro período (2000/2003), 31% da expansão canavieira ocorreu em áreas de culturas temporárias e 26% em áreas de pastagem. No segundo período (2003/2006) a composição da expansão canavieira foi de 28% sobre as áreas de cultura anual contra 18% de pastagem e, no terceiro período (2006/2009), 46% sobre áreas de cultura anual para 27% de pastagem. Os autores concluíram que o processo de expansão da cultura da cana-de-açúcar se deu de forma localizada ocupando inicialmente os melhores solos antes ocupados com culturas anuais de grãos na porção sul e sudoeste da microrregião, onde a

aptidão agrícola e a logística são muito mais favoráveis à atividade canavieira. As culturas anuais, por sua vez, se deslocaram para áreas de menor aptidão substituindo antigas pastagens no nordeste da mesma microrregião. Chamaram ainda a atenção para o fato de que, apesar dos dados da Microrregião de Meia Ponte como um todo, indicarem certa proporcionalidade nas áreas de expansão de cana-de-açúcar e da retração de pastagem, sugerindo ter havido efetiva substituição das áreas de pastagem por cana-de-açúcar, o que se observou neste período foi uma substituição indireta por conta do deslocamento das culturas anuais sobre as pastagens do noroeste da microrregião. Após este período inicial, com a diminuição da oferta das áreas melhores, a cana-de-açúcar começou também a avançar sobre áreas de pastagens na porção sul e sudoeste da microrregião de Meia Ponte (ABDALA e CASTRO, 2010).

Na microrregião de Quirinópolis, as áreas de pastagem também estão sendo convertidas diretamente para a cultura canavieira após a diminuição da oferta de áreas melhores ocupadas com culturas agrícolas, porém a agricultura anual e a pecuária estariam supostamente migrando para fora da microrregião (CASTRO *et al.*, 2010). Segundo os mesmos autores, nas microrregiões de Quirinópolis e Meia Ponte a expansão canavieira tem predominantemente induzido à substituição de culturas anuais por cana-de-açúcar, confirmando a tendência do Sul do estado, entretanto, salientam os autores que em Quirinópolis o processo de substituição de culturas de grãos e pastagens se iniciou mais tarde, a partir de 2004, e, está ocorrendo de forma mais equilibrada. Conforme Abdala e Castro (2010) e Borges (2010) este citado por Castro *et al.* (2010), os resultados mostram que a cana-de-açúcar, prioritariamente está substituindo as áreas antes ocupadas pelos grãos, em particular a soja, e secundariamente as pastagens.

Santos *et al.* (2011), trabalhando com uma metodologia diferente, baseada na utilização de séries temporais de imagens do produto *Enhanced Vegetation Index 2* (EVI2), geradas a partir dos dados do sensor MODIS referentes ao período de 2000 a 2009, identificaram diferentes padrões de mudança de uso do solo relacionados à expansão canavieira. Os padrões de conversão de uso do solo foram determinados apenas nos polígonos identificados como “áreas de expansão de cana-de-açúcar” determinados a partir dos dados do Projeto CANASAT do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), conforme descrito em Rudorff *et al.* (2010), nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul nos anos de 2005 a 2010. Por meio dos perfis temporais foram identificados seis padrões principais de mudança de uso do solo relacionada à expansão canavieira nos estados do MT e MS. A maioria dos padrões de conversão (40,2%) indicou que a maior parte das áreas de expansão tinha sido anteriormente utilizada como pastagem. Os autores concluíram que a partir do ano safra

2004/2005 as áreas de cana-de-açúcar começaram a ocupar as áreas de pastagem, porém, a intensificação deste processo ocorreu a partir do período 2006/2007. Por outro lado, as áreas que vinham, desde o ano 2000, sendo cultivadas com culturas agrícolas (10,5%) foram sendo convertidas em cana-de-açúcar. Tendo sido registrado o máximo dessa conversão, de forma coincidente com a intensificação da conversão pastagem-cana, no ano agrícola 2006/2007. Foram identificados também, a partir do período 2002/2003, padrões em que a pastagem não é substituída diretamente pela cultura canavieira (17,6%), havendo a detecção de alguma cultura agrícola intermediária antes de ceder espaço para a cultura canavieira, característica esta que, segundo os autores, pode ser atribuída a uma forma de manejo, adotada talvez para a melhoria do solo, antecedente ao cultivo da cana-de-açúcar. Quando esse período intermediário durou no mínimo durante três anos foi considerado como conversão de culturas agrícolas para cana-de-açúcar (12,6%).

Como exposto, vários trabalhos têm apresentado resultados que sugerem que o processo de expansão da cultura canavieira em áreas do Cerrado na região Centro-Oeste do país tem seguido a mesma tendência, onde inicialmente a cultura da cana-de-açúcar tem ocupado as áreas com topografia adequada e solos mais favoráveis anteriormente utilizados por outras culturas agrícolas. Aos poucos, na medida da diminuição da oferta de áreas preferenciais o processo da expansão da cultura canavieira tem convertido pastagens em áreas de produção.

Os resultados de substituição, prioritária e secundária, para as culturas anuais e pastagens, respectivamente, são bastante consistentes com o indicado pelos índices de mudança de uso do solo utilizado neste estudo de caso, entretanto, devido ao período adotado de seis anos (2005/2006 a 2010/2011) a tendência de aumento paulatino de substituição de pastagens não foi captada pelos indicadores. De qualquer forma, os resultados demonstram que para o período especificado na região estudada houve uma considerável tendência do processo de expansão da cultura canavieira sobre áreas tradicionalmente cultivadas com culturas agrícolas.

8.6.3.3 Avaliação do processo de expansão sustentada da cultura canavieira nas microrregiões: Meia Ponte, Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Quirinópolis.

O módulo B do SISH-Cana apresenta um indicador cujo objetivo é fornecer a informação direta do quanto a área atual ocupada com a cultura da cana-de-açúcar está próxima da área estabelecida como “Área máxima de expansão sustentada” em uma determinada Unidade Territorial de Análise. De outra forma, o índice indica se ainda há na UTA margem para que a cultura canavieira possa se expandir de modo sustentado considerando o atendimento da demanda hídrica potencial estimada. Os indicadores são: (i) *IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação*; (ii) *IESCs – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro*.

A figura 54 e a Tabela 19 apresentam os resultados das áreas de expansão sustentada e indicadores correspondentes.

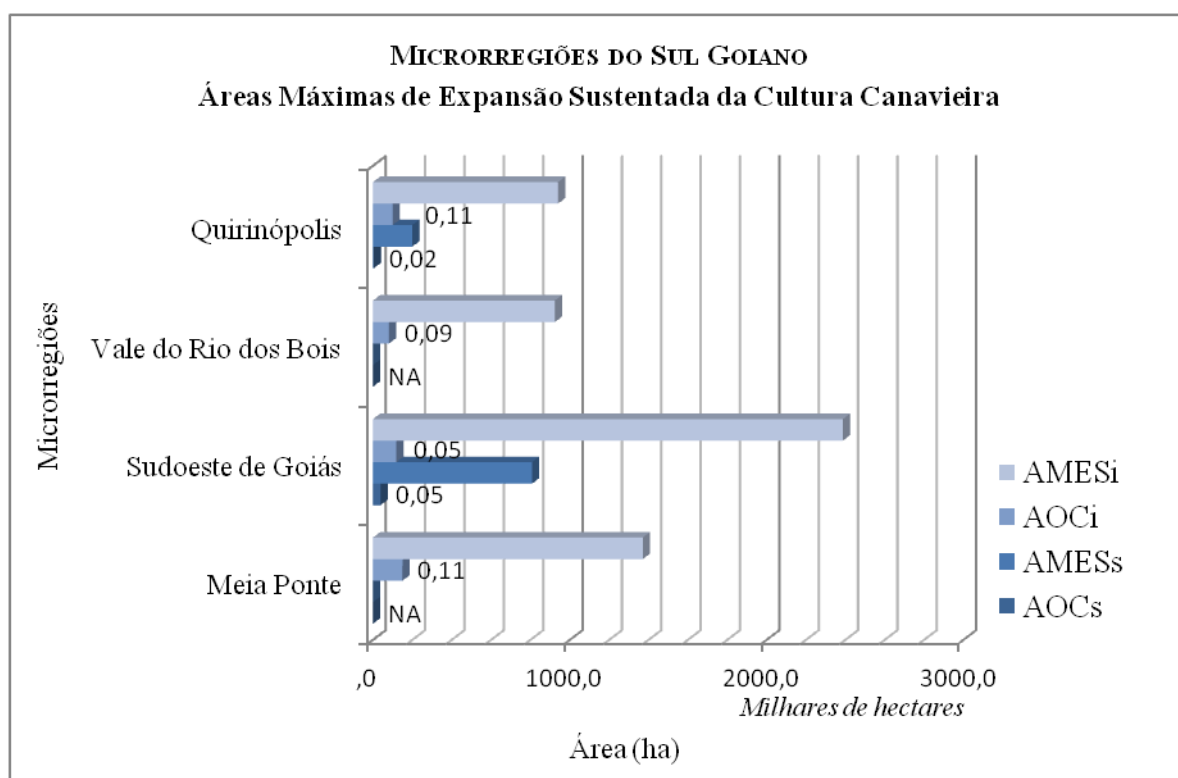


Figura 54 - Gráfico: Áreas máximas de expansão sustentada e indicadores: Índices de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira.

Nota: Legenda - Áreas: (i) AMESi – Área Máxima da Expansão Sustentada na Área de Irrigação Compulsória; (ii) AOCi - Área de Ocupação da Cultura Canavieira na Área de Irrigação Compulsória; (iii) AMESs – Área Máxima da Expansão Sustentada na Área Favorável ao Sistema de Sequeiro; (iv) AOCs - Área de Ocupação da Cultura Canavieira na Área Favorável ao Sistema de Sequeiro. Rótulos - Indicadores: (i) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação; (ii) IESCs – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro.

Tabela 19 - Áreas máximas de expansão sustentada e indicadores: Índices de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira.

UTA	ÁREAS (ha)				INDICADORES	
	AOCs	AMESs	AOCi	AMESi	IESCc	IESCi
Microrregiões						
Meia Ponte	0,00	0,00	150.154,94	1.371.286,31	NA	0,11
Sudoeste de Goiás	38.187,87	807.960,82	118.783,76	2.388.214,00	0,05	0,05
Vale do Rio dos Bois	0,00	0,00	80.908,93	924.244,73	NA	0,09
Quirinópolis	4.583,40	199.789,18	99.853,42	941.099,98	0,02	0,11
Totais	42.771,26	1.007.750,01	449.701,04	5.624.845,03	0,04	0,08

Nota: Áreas: (i) AMESi – Área Máxima da Expansão Sustentada na Área de Irrigação Compulsória; (ii) AOCi - Área de Ocupação da Cultura Canavieira na Área de Irrigação Compulsória; (iii) AMESs – Área Máxima da Expansão Sustentada na Área Favorável ao Sistema de Sequeiro; (iv) AOCs - Área de Ocupação da Cultura Canavieira na Área Favorável ao Sistema de Sequeiro - Indicadores: (i) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação; (ii) IESCc – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro.

Os resultados dos indicadores IESCc e IESCi demonstraram que as microrregiões em apreço possuem ainda muita margem para que a cultura canavieira possa se expandir de forma sustentada, considerando exclusivamente o atendimento da demanda hídrica estimada para cada tipo de sistema de produção explicitado. Esta evidência é explicada pelo fato de que as áreas atualmente ocupadas pela cultura canavieira (ano safra 2010/2011) ainda são muito diminutas em relação às *áreas máximas de expansão sustentada* as quais se equivalem às respectivas áreas favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro e de irrigação compulsória. Assim, para a região como um todo, apenas 4 e 8% das *áreas máximas de expansão sustentada* estão hoje ocupados, respectivamente, para as áreas favoráveis ao sistema de sequeiro e de irrigação compulsória.

Considerando as microrregiões, Quirinópolis e Meia Ponte apresentam os maiores percentuais (11%) de ocupação em relação à área máxima para a expansão da cultura canavieira de forma sustentada, seguido de Vale do rio dos Bois (9%) e Sudoeste de Goiás (5%) para a situação das áreas de irrigação compulsória. Para as áreas favoráveis ao sistema de cultivo em sequeiro de Quirinópolis figura com 2% e Sudoeste de Goiás com 5% da área máxima para a expansão da cultura canavieira com pleno atendimento da demanda hídrica.

8.6.4 Estudo 4: Descrição sintética do processo de expansão da atividade canavieira ocorrido no período de 2005/2006 a 2010/2011 nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.

Tomando-se, em conjunto, os indicadores do Módulo B do SISH-Cana , se torna possível realizar uma síntese descritiva do processo de expansão da atividade canavieira ocorrido em um determinado período nas Unidades Territoriais de Análise de interesse. Assim sendo, o presente item apresenta um estudo cujo objetivo foi descrever de forma sintética a situação do processo de expansão da atividade canavieira ocorrido no período de 2005/2006 a 2010/2011 nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.

Os resultados dos indicadores foram reunidos na forma de gráficos do tipo radar, apresentados nas figuras 55 e 56.

Interpretando os indicadores em conjunto, pode-se descrever e sumarizar o processo de expansão da cultura canavieira ocorrido em cada microrregião durante o período de 2005/2006 a 2010/2011, como se segue:

- **Meia Ponte** - A microrregião de Meia Ponte conta atualmente com 7% de sua área total ocupada (2010/2011) com a cultura canavieira, representando apenas 11% da área máxima capaz de ser cultivada de forma sustentada com base na disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica potencial estimada para a condução da cultura canavieira exclusivamente em regime de irrigação compulsória; 5% da área total da microrregião foram convertidos à produção canavieira no período recente de 2005/2006 a 2010/2011, com taxa de crescimento médio da ordem de 0,83% ao ano, sendo que 97% do processo de expansão ocorreram sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas sendo 69% sobre áreas agrícolas, 29% sobre áreas com pastagens e 1% sobre vegetação nativa;
- **Sudoeste de Goiás** - A microrregião do Sudoeste de Goiás conta atualmente com 3% de sua área total ocupada (2010/2011) com a cultura canavieira, representando 5% da área máxima capaz de ser cultivada de forma sustentada com base na disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica potencial estimada para a condução da cultura canavieira, tanto em sistema de sequeiro quanto em regime de irrigação compulsória; 2% da área total da microrregião foram convertidos à produção canavieira no recente período de 2005/2006 a 2010/2011, com taxa de crescimento médio da ordem de

0,33% ao ano, sendo que 88% do processo de expansão ocorreram sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas sendo 64% sobre áreas agrícolas, 29% sobre áreas com pastagens e 7% sobre vegetação nativa;

- **Vale do Rio dos Bois** - A microrregião de Vale do Rio dos Bois conta atualmente com 6% de sua área total ocupada (2010/2011) com a cultura canavieira, representando apenas 9% da área máxima capaz de ser cultivada de forma sustentada com base na disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica potencial estimada para a condução da cultura canavieira exclusivamente em regime de irrigação compulsória; 4% da área total da microrregião foram convertidos à produção canavieira no período recente de 2005/2006 a 2010/2011, com taxa de crescimento médio da ordem de 0,67% ao ano, sendo que 94% do processo de expansão ocorreram sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas sendo 59% sobre áreas agrícolas, 38% sobre áreas com pastagens e 3% sobre vegetação nativa;
- **Quirinópolis** - A microrregião de Quirinópolis conta atualmente com 6% de sua área total ocupada (2010/2011) com a cultura canavieira, representando 2% e 11% da área máxima capaz de ser cultivada de forma sustentada com base na disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica potencial estimada para a condução da cultura canavieira, respectivamente, em sistema de sequeiro e em regime de irrigação compulsória; os 6% da área total da microrregião, ocupados atualmente com a cultura canavieira foram convertidos no período recente de 2005/2006 a 2010/2011, com taxa de crescimento médio da ordem de 1% ao ano, sendo que 89% do processo de expansão ocorreram sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas sendo 33% sobre áreas agrícolas, 66% sobre áreas com pastagens e 1% sobre vegetação nativa.

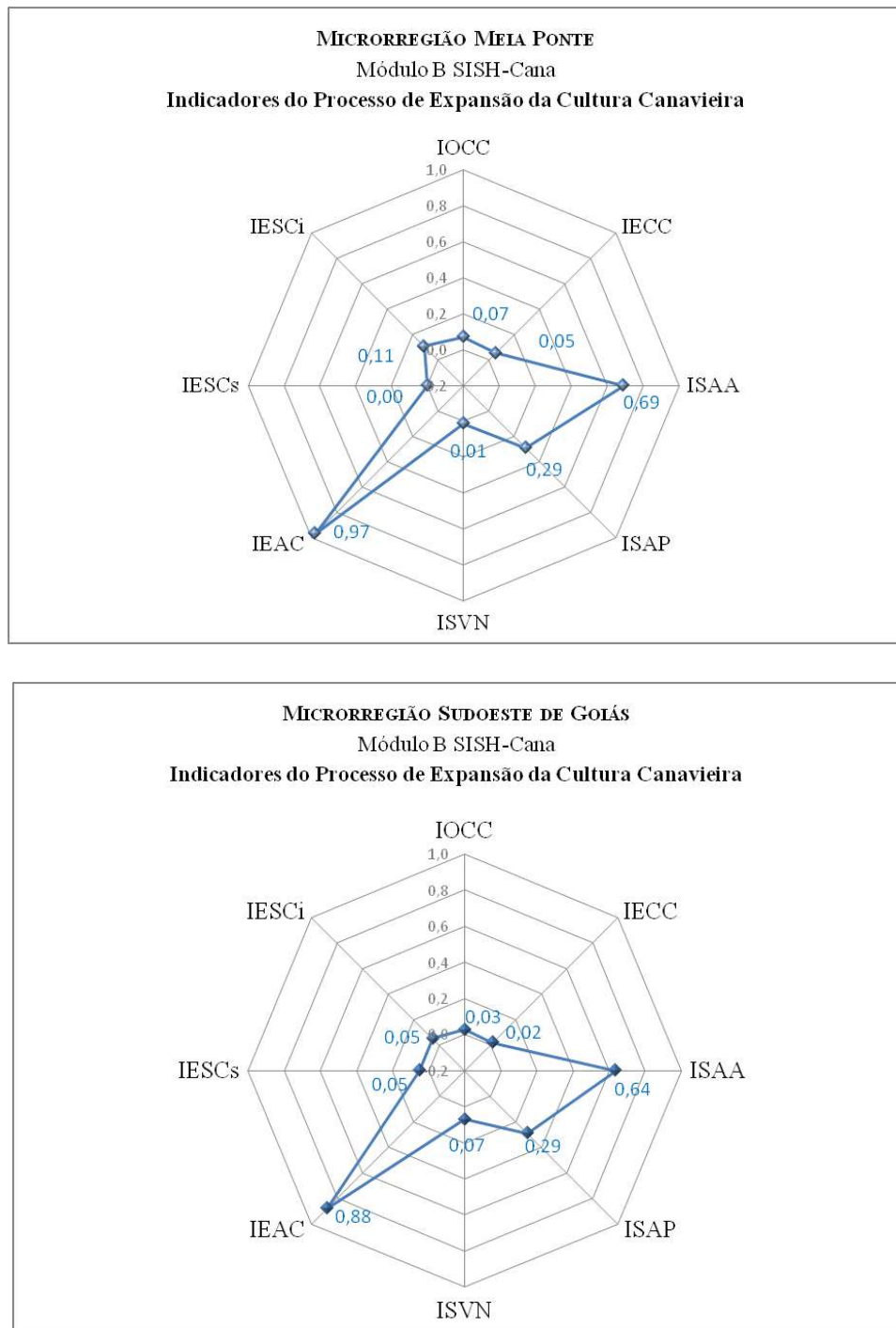


Figura 55 - Gráficos dos Indicadores do Processo de Expansão da Cultura Canavieira (Módulo B do SISH-Cana) para as microrregiões Meia Ponte (A) e Sudoeste de Goiás (B).

Nota: Indicadores: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA– Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCs – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação.

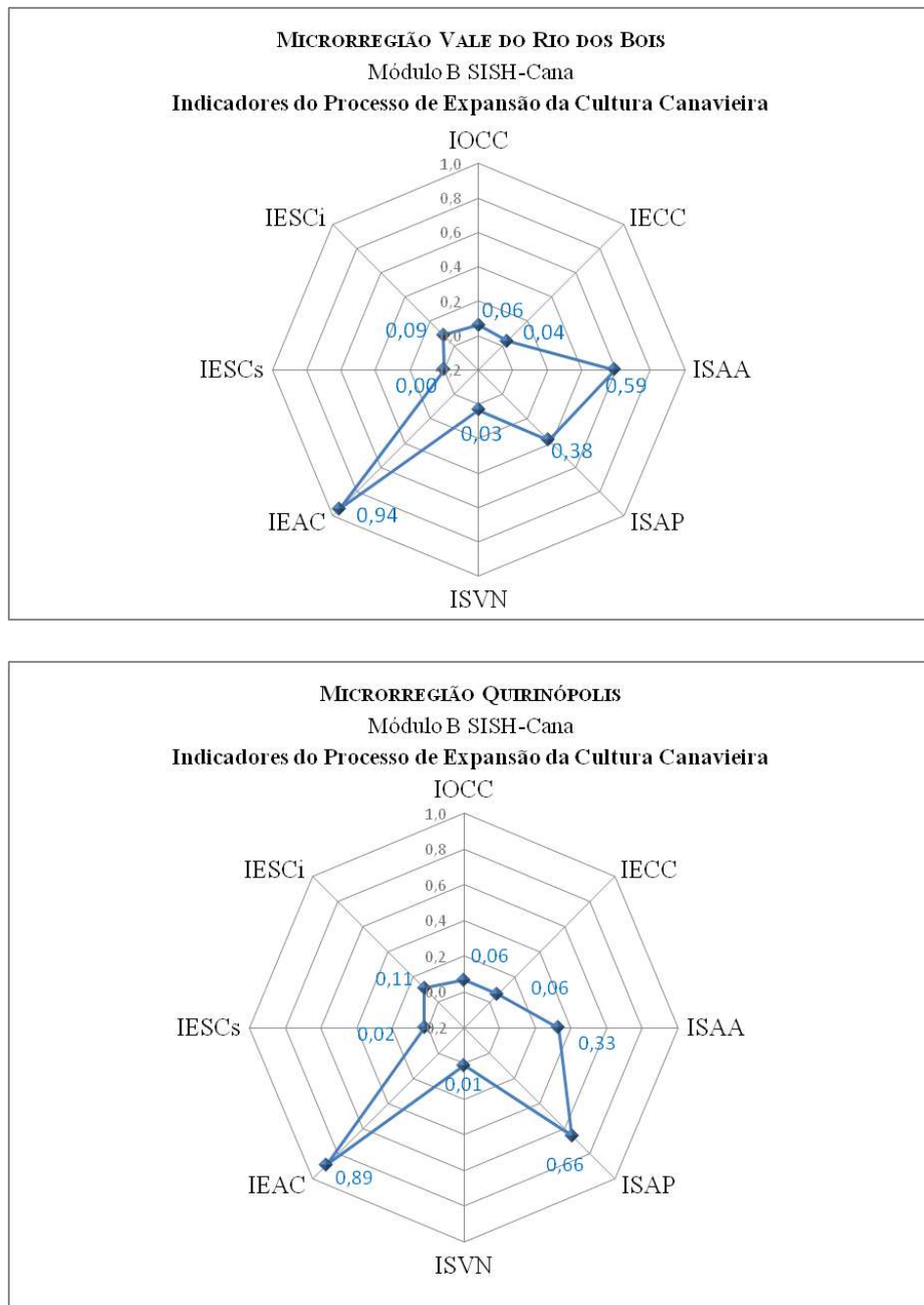


Figura 56 - Gráficos dos Indicadores do Processo de Expansão da Cultura Canaveira (Módulo B do SISHM-Cana) para as microrregiões do Vale do Rio dos Bois (A) e de Quirinópolis (B).

Nota: Indicadores: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Canaveira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canaveira; (iii) ISAA– Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canaveira. Indicadores; (vii) IESCs – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação.

8.6.5 Estudo 5: Avaliação geral do potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira nos municípios das microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.

O presente estudo objetiva exemplificar a aplicação dos indicadores do Módulo A do SISH-Cana - Avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira, para realizar uma avaliação geral e sucinta da situação encontrada nos municípios das microrregiões: Meia Ponte, Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Quirinópolis.

As tabelas 20, 21, 22, 23 apresentam, respectivamente, os indicadores para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira dos municípios das microrregiões: Meia Ponte, Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Quirinópolis.

Tabela 20 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião de Meia Ponte. (continua)

UTA		INDICADORES						
Município	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
Água Limpa	0,36	0,00	0,36	0,55	0,00	NA	0,20	1,00
Aloândia	0,39	0,00	0,39	0,65	0,00	NA	0,21	1,00
Bom Jesus de Goiás	0,91	0,00	0,91	0,64	0,00	NA	0,48	1,00
Buriti Alegre	0,20	0,00	0,20	0,55	0,00	NA	0,12	1,00
Cachoeira Dourada	0,79	0,00	0,79	0,62	0,00	NA	0,43	1,00
Caldas Novas	0,52	0,00	0,52	0,42	0,00	NA	0,27	1,00
Cromínia	0,35	0,00	0,35	0,37	0,00	NA	0,17	1,00
Goiatuba	0,83	0,00	0,83	0,65	0,00	NA	0,46	1,00
Inaciolândia	0,86	0,00	0,86	0,61	0,00	NA	0,44	1,00
Itumbiara	0,77	0,00	0,77	0,62	0,00	NA	0,44	1,00
Joviânia	0,69	0,00	0,69	0,63	0,00	NA	0,41	1,00
Mairipotaba	0,45	0,00	0,45	0,53	0,00	NA	0,26	1,00
Marzagão	0,30	0,00	0,30	0,36	0,00	NA	0,16	1,00

Tabela 20 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião de Meia Ponte. (conclusão)

UTA		INDICADORES						
Município	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
Morrinhos	0,51	0,00	0,51	0,55	0,00	NA	0,27	1,00
Panamá	0,73	0,00	0,73	0,63	0,00	NA	0,42	1,00
Piracanjuba	0,78	0,00	0,78	0,60	0,00	NA	0,36	1,00
Pontalina	0,44	0,00	0,44	0,61	0,00	NA	0,28	1,00
Porteirão	0,81	0,00	0,81	0,65	0,00	NA	0,58	1,00
Professor Jamil	0,24	0,00	0,24	0,44	0,00	NA	0,11	1,00
Rio Quente	0,43	0,00	0,43	0,26	0,00	NA	0,24	1,00
Vicentinópolis	0,79	0,00	0,79	0,66	0,00	NA	0,60	1,00

Nota: Legenda: Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAFC_I - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (iv) IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos (v) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (vii) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação. (viii) IADH_I - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em sistema de irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

Os resultados apresentados demonstram as diferenças que os municípios apresentam em relação ao potencial de sustentabilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira. Os *Índices de Área Total Favorável à Cultura Canavieira* (IAFC_T), variando entre 0,21, para o Município de Varjão no Vale do Rio dos Bois e, 0,91, para o Município de Bom Jesus de Goiás em Meia Ponte, revelam a expressiva favorabilidade em termos de aptidão edáfica que a maioria dos municípios das microrregiões estudadas apresenta. No entanto, na maioria dos municípios as condições climáticas impõem a prática da irrigação suplementar, como demonstram os *Índices de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória* (IAFC_I) que variaram entre os extremos 0,00 para os municípios que prescindem da obrigatoriedade da prática da irrigação suplementar e 0,91 para o Município de Bom Jesus de Goiás, situado na Microrregião de Meia Ponte. Apenas em dois municípios, Aporé e Chapadão do Céu a atividade canavieira pode ser desenvolvida exclusivamente em sistema de sequeiro. Os municípios de Jataí, Mineiros, Itajá, Itarumã e

Lagoa Santa apresentam tanto áreas favoráveis à condução da atividade canavieira em sistema de sequeiro quanto áreas onde a irrigação suplementar se faz necessária.

No que diz respeito à vulnerabilidade das terras quanto ao risco de contaminação dos aquíferos freáticos e mananciais de superfície em função de uma possível aplicação descriteriosa de vinhaça, os municípios estudados, diferentemente dos registrados para as microrregiões, apresentaram valores mais contrastantes. Os municípios de Marzagão, Cromínia, Caldas Novas na Microrregião de Meia Ponte, Cezarina, Jandaia, Varjão e Edealina no Vale do Rio dos Bois, e, Palestina de Goiás e Caiapônia no Sudoeste de Goiás registraram os menores índices de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos por vinhaça. Todos inferiores a 0,50. Enquanto, os demais municípios, situados na faixa de 0,50 a 0,67, apresentaram, relativamente, maior vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, devido à variabilidade espacial e às associações das classes de solo encontradas. Interessante notar que o município de Serranópolis, situado na Microrregião Sudoeste de Goiás apresentou um valor significativamente superior aos demais (IVCH = 0,79). Justamente por apresentar vastas áreas de Neossolos Quartzarênicos que, devido as suas características intrínsecas de textura e porosidade, propiciam a infiltração, lixiviação e percolação profunda dos materiais solubilizados. Atestando, deste modo, o poder discriminatório do indicador proposto.

Tabela 21 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião do Sudoeste de Goiás. (continua)

UTA	INDICADORES							
	Município	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I
Aparecida do R.								
Doce	0,79	0,00	0,79	0,66	0,00	NA	0,33	1,00
Aporé	0,73	0,73	0,00	0,65	0,10	1,00	0,00	NA
Caiapônia	0,34	0,00	0,34	0,46	0,00	NA	0,13	1,00
Castelândia	0,85	0,00	0,85	0,64	0,00	NA	0,44	1,00
Chapadão do Céu	0,69	0,69	0,00	0,55	0,09	1,00	0,00	NA
Doverlândia	0,43	0,00	0,43	0,61	0,00	NA	0,17	1,00
Jataí	0,66	0,04	0,62	0,67	0,01	1,00	0,25	1,00
Maurilândia	0,89	0,00	0,89	0,64	0,00	NA	0,41	1,00
Mineiros	0,41	0,10	0,31	0,66	0,01	1,00	0,12	1,00

Tabela 21 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião do Sudoeste de Goiás. (conclusão)

UTA	INDICADORES							
Município	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
Montividiu	0,77	0,00	0,77	0,63	0,00	NA	0,30	1,00
Palestina de Goiás	0,51	0,00	0,51	0,48	0,00	NA	0,20	1,00
Perolândia	0,66	0,00	0,66	0,61	0,00	NA	0,28	1,00
Portelândia	0,47	0,00	0,47	0,56	0,00	NA	0,19	1,00
Rio Verde	0,72	0,00	0,72	0,61	0,00	NA	0,29	1,00
Sta Helena de Goiás	0,88	0,00	0,88	0,66	0,00	NA	0,38	1,00
Sta Rita do Araguaia	0,51	0,00	0,51	0,52	0,00	NA	0,18	1,00
Sto Antônio da Barra	0,65	0,00	0,65	0,66	0,00	NA	0,29	1,00
Serranópolis	0,61	0,57	0,04	0,79	0,08	1,00	0,01	1,00

Nota: Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAIC - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (iv) IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos (v) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (vii) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação. (viii) IADH_I - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em sistema de irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

Tabela 22 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião do Vale do Rio dos Bois. (continua)

UTA	INDICADORES							
Município	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
Acreúna	0,67	0,00	0,67	0,66	0,00	NA	0,46	1,00
Campestre de Goiás	0,32	0,00	0,32	0,62	0,00	NA	0,24	1,00
Cezarina	0,52	0,00	0,52	0,30	0,00	NA	0,41	1,00

Tabela 22 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião do Vale do Rio dos Bois. (conclusão)

UTA	INDICADORES							
Município	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
Edealina	0,64	0,00	0,64	0,44	0,00	NA	0,51	1,00
Edéia	0,71	0,00	0,71	0,52	0,00	NA	0,58	1,00
Indiara	0,72	0,00	0,72	0,52	0,00	NA	0,58	1,00
Jandaia	0,62	0,00	0,62	0,43	0,00	NA	0,50	1,00
Palmeiras de Goiás	0,74	0,00	0,74	0,53	0,00	NA	0,59	1,00
Palminópolis	0,82	0,00	0,82	0,57	0,00	NA	0,66	1,00
Paraúna	0,71	0,00	0,71	0,44	0,00	NA	0,35	1,00
São João da Paraúna	0,76	0,00	0,76	0,57	0,00	NA	0,51	1,00
Turvelândia	0,81	0,00	0,81	0,67	0,00	NA	0,52	1,00
Varjão	0,21	0,00	0,21	0,45	0,00	NA	0,14	1,00

Nota. Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAIC - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (iv) IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos (v) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (vii) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação. (viii) IADH_I - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em sistema de irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

Do ponto de vista do potencial de sustentabilidade hídrica os municípios das microrregiões de Quirinópolis e, sobretudo, Sudoeste de Goiás apresentam maior favorabilidade, com destaque para os municípios de Caiapônia, Dorvelândia, Mineiros, Portelândia, Palestina de Goiás, Sta Rita do Araguaia, Itajá, Itarumã, Lagoa Santa, Aporé, Chapadão do Céu, apenas para citar os que apresentaram um percentual de comprometimento de no máximo 20% dos volumes hídricos disponíveis para atender a atividade canavieira em seus territórios. Os municípios de Cromínia, Buriti Alegre, Morrinhos e Professor Jamil, situados na Microrregião de Meia Ponte, e, Varjão no Vale do Rio dos Bois, também possuem percentuais de comprometimento da disponibilidade hídrica abaixo dos 20%. No entanto, condicionados mais pela baixa demanda, devido à limitação de áreas favoráveis para a cultura canavieira, do que propriamente pela abundância da oferta hídrica. Os municípios menos

favoráveis quanto à sustentabilidade hídrica, todos apresentando percentuais de comprometimento da disponibilidade hídrica acima de 50% são: Edealina, Edéia, Indiará, Jandaia, Palmeiras de Goiás, Palminópolis, São João da Paraúna, Turvelândia, situados na Microrregião do Vale do Rio dos Bois, e, Porteirão na Microrregião de Meia Ponte.

Tabela 23 - Indicadores de avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira para os municípios da Microrregião de Quirinópolis.

UTA	INDICADORES							
	Município	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I
Cachoeira Alta	0,69	0,00	0,69	0,58	0,00	NA	0,32	1,00
Caçu	0,70	0,00	0,69	0,65	0,00	NA	0,31	1,00
Gouvelândia	0,80	0,00	0,80	0,57	0,00	NA	0,43	1,00
Itajá	0,68	0,39	0,29	0,60	0,06	1,00	0,12	1,00
Itarumã	0,68	0,26	0,43	0,64	0,04	1,00	0,18	1,00
Lagoa Santa	0,85	0,66	0,20	0,63	0,10	1,00	0,08	1,00
Paranaiguara	0,64	0,00	0,64	0,56	0,00	NA	0,35	1,00
Quirinópolis	0,76	0,00	0,76	0,61	0,00	NA	0,41	1,00
São Simão	0,65	0,00	0,65	0,59	0,00	NA	0,33	1,00

Nota: Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAIC - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória (iv) IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos (v) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (vii) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação. (viii) IADH_I - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em sistema de irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

Em relação ao potencial de expansão sustentada dado pelo nível de atendimento da demanda hídrica para sustentar a atividade canavieira, todos os municípios das microrregiões estudadas apresentaram plenas condições de desenvolvimento, uma vez que, os *Índices de Atendimento da demanda Hídrica da Atividade Canavieira*, em sistema de sequeiro e de irrigação, atingiram sem exceção a unidade. Porém, como já ressaltado na análise feita anteriormente para as microrregiões, deve-se ter em mente que o referido índice aponta apenas para o atendimento da demanda da atividade canavieira de maneira isolada, e, como os níveis de comprometimento da disponibilidade hídrica, em alguns casos, se apresentam

bastante elevados, deve-se considerar a possibilidade de haver limitações impostas pela concorrência das diversos setores usuários de água.

8.6.6 Estudo 6: Avaliação geral do processo de expansão da atividade canavieira ocorrida no período de 2005/2006 a 2010/2011 nos municípios das microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.

O presente estudo objetivou exemplificar a aplicação dos indicadores do Módulo B do SISH-Cana - Avaliação do processo de expansão da atividade canavieira, no estudo de caso dos municípios das microrregiões: Meia Ponte, Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Quirinópolis.

As tabelas 24, 25, 26 e 27 apresentam, respectivamente, os indicadores para a avaliação do processo de expansão da atividade canavieira ocorrido nos municípios das microrregiões: Meia Ponte, Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Quirinópolis; no período de 2005/2006 a 2010/2011.

Os resultados apresentados demonstram as diferenças em relação ao processo de expansão e desenvolvimento da atividade canavieira em curso nos municípios estudados durante o período de 2005/2006 a 2010/2011. Os *Índices de Ocupação da Cultura Canavieira* (IOCC) revelam que dos 61 municípios apreciados 36 apresentam atividade canavieira. No geral, os municípios, com algumas exceções importantes, apresentam áreas ocupadas com a cultura canavieira, relativamente, pequenas diante das áreas totais dos seus territórios. A maioria situando-se abaixo dos 15%. Destaca-se os municípios de Gouvelândia e Quirinópolis na Microrregião de Quirinópolis, Acreúna, Jandaia e Turvelândia no Vale do Rio dos Bois, Castelândia, Maurilândia e Sta Helena de Goiás na Microrregião do Sudoeste de Goiás, e, Bom Jesus de Goiás, Cachoeira Dourada, Goiatuba, Inaciolândia, Itumbiara e Porteirão em Meia Ponte, como os que registraram os maiores valores relativos de área de ocupação até o ano agrícola de 2010/2011. Gouvelândia e Turvelândia, ambos com 24%, Sta Helena de Goiás com 35%, Porteirão com 39% e Maurilândia com 42%, já ocupados com a cultura canavieira despontam como os municípios de maior expressão.

Tabela 24 - Indicadores de avaliação do processo de expansão da atividade canavieira para os municípios da Microrregião de Meia Ponte.

UTA	INDICADORES							
Municípios	IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC _s	IESC _i
Água Limpa	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Aloândia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Bom Jesus de Goiás	0,13	0,11	0,79	0,19	0,02	0,98	NA	0,15
Buriti Alegre	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Cachoeira Dourada	0,12	0,12	0,59	0,36	0,05	0,94	NA	0,15
Caldas Novas	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Cromínia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Goiatuba	0,14	0,07	0,82	0,17	0,01	0,96	NA	0,17
Inaciolândia	0,13	0,13	0,64	0,36	0,01	0,98	NA	0,15
Itumbiara	0,14	0,12	0,66	0,33	0,01	0,96	NA	0,19
Joviânia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Mairipotaba	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Marzagão	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Morrinhos	0,03	0,03	0,93	0,07	0,00	0,99	NA	0,06
Panamá	0,06	0,05	0,63	0,34	0,03	0,91	NA	0,09
Piracanjuba	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Pontalina	0,01	0,01	0,80	0,19	0,01	0,95	NA	0,02
Porteirão	0,39	0,27	0,56	0,43	0,01	0,97	NA	0,48
Professor Jamil	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Rio Quente	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Vicentinópolis	0,13	0,13	0,52	0,46	0,02	0,97	NA	0,16

Nota: Indicadores: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCs – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

Tabela 25 - Indicadores de avaliação do processo de expansão da atividade canavieira para os municípios da Microrregião do Sudoeste de Goiás.

UTA	INDICADORES							
Municípios	IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC _s	IESC _i
Aparecida do R. Doce	0,01	0,01	0,00	1,00	0,00	0,93	0,00	0,01
Aporé	0,01	0,01	0,31	0,64	0,05	0,94	0,02	NA
Caiapônia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Castelândia	0,16	0,09	0,70	0,28	0,02	1,00	NA	0,19
Chapadão do Céu	0,06	0,06	0,96	0,00	0,04	0,83	0,09	NA
Doverlândia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Jataí	0,02	0,02	0,73	0,23	0,04	0,85	0,00	0,03
Maurilândia	0,42	0,12	0,73	0,24	0,03	0,96	NA	0,47
Mineiros	0,03	0,03	0,26	0,52	0,23	0,80	0,06	0,07
Montividiu	0,03	0,03	0,92	0,08	0,00	0,92	NA	0,04
Palestina de Goiás	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Perolândia	0,02	0,02	0,94	0,04	0,02	0,85	NA	0,03
Portelândia	0,02	0,02	0,93	0,00	0,07	0,82	NA	0,05
Rio Verde	0,02	0,02	0,97	0,01	0,02	0,91	NA	0,02
Sta Helena de Goiás	0,35	0,10	0,65	0,34	0,01	0,95	NA	0,40
Sta Rita do Araguaia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Sto Antônio da Barra	0,08	0,08	0,70	0,29	0,01	0,91	NA	0,12
Serranópolis	0,02	0,02	0,32	0,66	0,02	0,94	0,03	0,00

Indicadores: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCs – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

O processo de expansão da cultura canavieira foi bastante acentuado no período de 2005/2006 a 2010/2011. Notadamente, na Microrregião de Quirinópolis que não apresentou registro significativo da cultura canavieira anterior ao referido período. Com destaque para os municípios de Paranaiguara, Quirinópolis e Gouvelândia, que assistiram no período de seis anos a conversão de 11, 12 e 24% dos seus territórios a cultura da cana-de-açúcar.

Tabela 26 - Indicadores de avaliação do processo de expansão da atividade canavieira para os municípios da Microrregião do Vale do Rio dos Bois.

UTA	INDICADORES							
Municípios	IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC _s	IESC _i
Acreúna	0,11	0,09	0,28	0,70	0,03	0,95	NA	0,16
Campestre de Goiás	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Cezarina	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Edealina	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Edéia	0,10	0,10	0,79	0,16	0,05	0,95	NA	0,14
Indiara	0,05	0,04	0,70	0,29	0,01	0,95	NA	0,07
Jandaia	0,15	0,03	0,52	0,47	0,01	0,80	NA	0,25
Palmeiras de Goiás	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Palminópolis	0,04	0,04	0,95	0,00	0,05	0,95	NA	0,04
Paraúna	0,02	0,01	0,65	0,31	0,04	0,95	NA	0,02
São João da Paraúna	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Turvelândia	0,24	0,08	0,66	0,33	0,01	0,95	NA	0,30
Varjão	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00

Indicadores: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCs – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

Nas demais microrregiões destacam-se os municípios de Acreúna, Edéia, Turvelândia no Vale do Rio dos Bois; Castelândia, Maurilândia e Sta Helena de Goiás na Microrregião do Sudoeste de Goiás, e, Bom Jesus de Goiás, Cachoeira Dourada Inaciolândia, Itumbiara na Microrregião de Meia Ponte. Todos na faixa de 8% a 13%. Desta última merece destaque o Município de Porteirão que teve 27% dos seus 60 mil hectares convertidos à atividade canavieira no período apreciado.

O processo de mudança de uso do solo se deu majoritariamente por substituição de outras culturas agrícolas tendo sido registrados percentuais de substituição de até 97% em Rio Verde situado no Sudoeste de Goiás.

Tabela 27 - Indicadores de avaliação do processo de expansão da atividade canavieira para os municípios da Microrregião de Quirinópolis.

UTA	INDICADORES							
	Municípios	IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC _s
Cachoeira Alta	0,02	0,02	0,00	0,96	0,04	0,92	NA	0,03
Caçu	0,06	0,06	0,00	0,98	0,02	0,80	NA	0,08
Gouvelândia	0,24	0,24	0,57	0,42	0,01	0,95	NA	0,30
Itajá	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	0,00	0,00
Itarumã	0,02	0,02	0,07	0,89	0,04	0,85	0,05	0,02
Lagoa Santa	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	0,00	0,00
Paranaiguara	0,11	0,11	0,03	0,95	0,02	0,86	NA	0,17
Quirinópolis	0,12	0,12	0,46	0,53	0,01	0,90	NA	0,15
São Simão	0,08	0,08	0,47	0,52	0,00	0,82	NA	0,13

Nota: Indicadores: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCs – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESC_i – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

Outros municípios que, neste sentido, também se destacaram foram: Chapadão do Céu, Montividiu, Perolândia e Portelândia na Microrregião do Sudoeste de Goiás, e, Palminópolis e Morrinhos pertencentes às microrregiões do Vale do Rio dos Bois e Meia Ponte, respectivamente. Em Aparecida do Rio Doce no Sudoeste de Goiás e Cachoeira Alta e Caçu na Microrregião de Quirinópolis não houve registro significativo de substituição de culturas agrícolas e o processo de expansão da cultura da cana-de-açúcar ocorreu quase que totalmente sobre áreas de pastagens. Outros municípios como: Aporé, Mineiros, Acreúna, Itarumã, Paranaiguara, Quirinópolis e São Simão; também constituem exemplos de municípios onde o processo da expansão canavieira, preponderantemente, ocorreu substituindo áreas de pastagens ($\geq 90\%$).

A supressão da vegetação nativa, dada pelo ISVN, em função da expansão da cultura da cana-de-açúcar não foi muito expressiva para a maioria dos municípios em apreço, situando-se, normalmente, abaixo de 5% do total da área de expansão. Cabe mencionar os municípios de Portelândia e Mineiros como aqueles que registram os maiores *Índices de*

Supressão de Vegetação Nativa, equivalendo a 7% e 23% da área total de expansão ocorrida entre os anos de 2005/2006 e 2010/2011 em seus territórios.

Pode-se observar ainda que o processo de expansão, indicado pelo IEAC, na maioria dos municípios ocorreu em áreas de topografia adequada e boa aptidão edáfica, tendo sido registrados valores que ultrapassam os 90 % em 25 municípios e, no mínimo, 80% para os demais municípios das microrregiões consideradas. Reafirmando a tese de que o processo de expansão da cultura canavieira verificado na região de estudo tem sido bastante seletivo em relação à escolha das áreas mais adequadas.

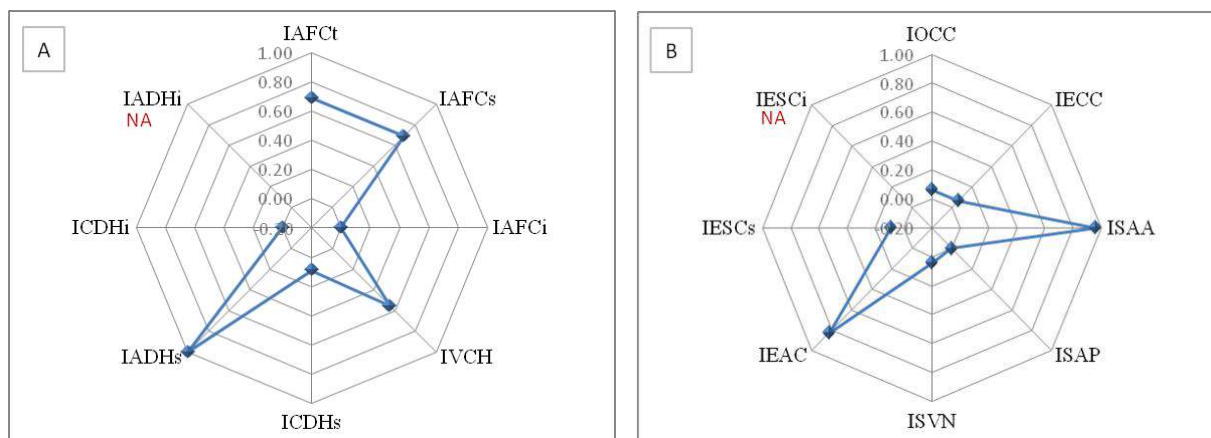
Quanto à apreciação da situação de ocupação atual (2010/2011) e a margem de expansão ainda existente para a cultura canavieira, os resultados revelam que, na maioria dos municípios estudados, ainda há muita área disponível para a expansão da atividade canavieira de modo sustentável, com base no balanço entre a disponibilidade e demanda hídrica. Contudo em alguns municípios, em relação ao limite dado pela área máxima de expansão sustentada, as áreas de ocupação chegam a 30% nos municípios de Gouvelândia, Turvelândia e já ultrapassam os 40% nos municípios de Porteirão, Maurilândia, Sta Helena de Goiás. Nesses últimos municípios, caso as taxas de expansão verificadas forem constantes, dentro de um período de pouco mais de seis anos, a cultura canavieira terá atingido as áreas máximas de expansão sustentada em cada município citado.

8.6.7 Estudo 7 - Descrição sintética do potencial de sustentabilidade hídrica e do processo de expansão da atividade canavieira durante o período de 2005/2006 a 2010/2011, de dez municípios contrastantes das microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.

O propósito deste exercício é exemplificar como o Sistema de Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana , oferece indicadores capazes de descrever de maneira sintética as diferentes situações encontradas nos municípios, em relação ao potencial de sustentabilidade hídrica e ao processo de expansão da atividade canavieira em curso. Para tal, dez municípios com características contrastantes foram escolhidos de forma proposital. Os municípios selecionados foram: (i) Chapadão do Céu; (ii) Portelândia; (iii) Itajá; (iv) Palminópolis; (v) Porteirão; (vi) Serranópolis; (vii) Buriti Alegre; (viii) Mineiros; (ix) Rio Verde; (x) Caçu.

❖ Município de Chapadão do Céu

A figura 57 apresenta os resultados dos indicadores dos módulos 1A e 1B do SISH-Cana em gráficos do tipo radar e em forma Figurada, referentes ao Município de Chapadão do Céu.



INDICADORES DO MÓDULO 1A DO SISHM-CANA

IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
0,69	0,69	0,00	0,55	0,09	1,00	0,00	NA

INDICADORES DO MÓDULO 1B DO SISH-CANA

IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESCS	IESCi
0,06	0,06	0,96	0,00	0,04	0,83	0,09	NA

Figura 57 - Gráficos e Indicadores tabelados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Chapadão do Céu na Microrregião do Sudoeste de Goiás, GO.

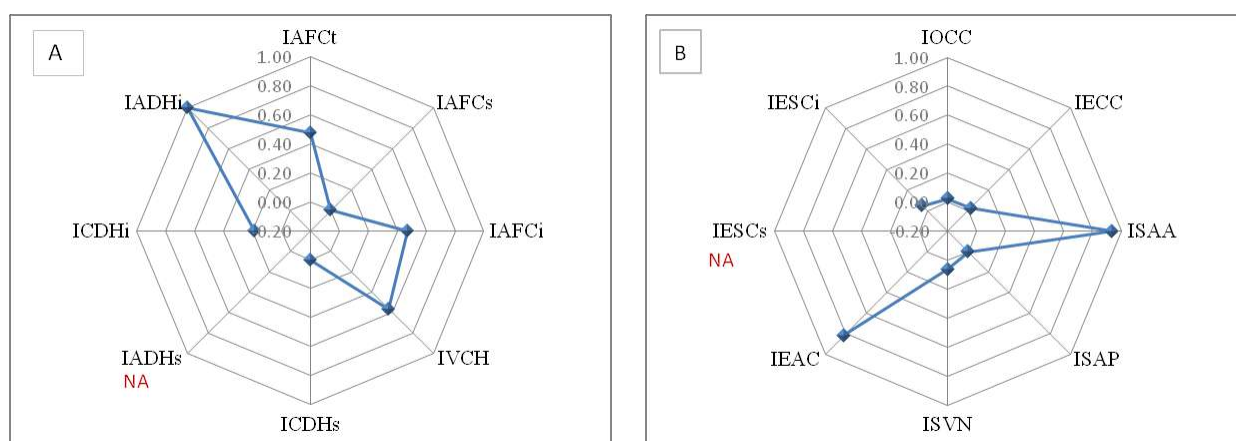
Nota: Indicadores: Módulo A: (i) IAFC_T – Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iii) IAFC_I – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iv) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (vii) IADH_I - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Módulo B: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCS – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESC_i – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

A partir da observação dos indicadores dos módulos 1A e 1B do SISH-Cana a seguinte descrição pode ser feita para o Município de Chapadão do Céu.

- **Descrição:** Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, indicando um risco médio (0,55), o município de Chapadão do Céu possui 69% de seu território favorável ao cultivo da cultura canavieira que pode ser conduzida totalmente em sistema de sequeiro. Apresenta, ainda, um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável para a cultura com a utilização de apenas 9% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente a demanda hídrica projetada. A atividade canavieira no Município de Porteirão ocupa, atualmente (2010/2011), 6% do território total e vem crescendo com uma taxa anual na ordem de 1%, em um processo de expansão recente a partir do ano-agrícola de 2005/2006, constituindo apenas 9% da área máxima para a expansão da cultura de maneira sustentada, em termos de atendimento da demanda hídrica estimada. Noventa e seis por cento (96%) da expansão canavieira ocorreu sobre áreas tradicionalmente cultivadas com culturas agrícolas e, em 4% do processo, constatou-se a supressão da vegetação nativa. O processo de expansão da cultura canavieira, em 83% da área, ocorreu de modo tecnicamente adequado;
- **Conclusão:** O Município de Chapadão do Céu possui um ótimo potencial de desenvolvimento sustentável para a atividade canavieira, devido à abundância de áreas favoráveis à condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro com muito baixo comprometimento da disponibilidade hídrica. Contudo, requer atenção quanto à questão do risco de contaminação dos mananciais hídricos. O município experimenta um processo de expansão recente, mas, ainda há muita margem para o crescimento da atividade canavieira de forma sustentada. O processo de expansão da atividade canavieira tem avançado sobre áreas com topografia adequada e os melhores solos, concorrendo com outras culturas agrícolas que têm cedido espaço para a atividade canavieira. As áreas com solos de aptidão média e alta, com no máximo 12 de declividade, viabiliza a adoção da colheita mecanizada, permite o emprego de alta tecnologia e possibilita a obtenção de elevada produtividade.

❖ *Município de Portelândia*

A figura 58 apresenta os resultados dos indicadores dos módulos 1A e 1B do SISH-Cana em gráficos do tipo radar e em forma Figurada, referentes ao Município de Portelândia.



INDICADORES DO MÓDULO 1A DO SISH-CANA

I AFC _T	I AFC _S	I AFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
0,47	0,00	0,47	0,56	0,00	NA	0,19	1,00

INDICADORES DO MÓDULO 1B DO SISH-CANA

IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESCS	IESCI
0,02	0,02	0,93	0,00	0,07	0,82	NA	0,05

Figura 58 - Gráficos e Indicadores tabelados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Portelândia na Microrregião do Sudoeste de Goiás, GO.

Nota: Legenda - Indicadores: Módulo A: (i) I AFC_T – Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira; (ii) I AFC_S – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iii) I AFC_I – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iv) ICDH_S – Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I – Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S – Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IADH_I – Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Módulo B: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCS – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCI – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

A partir da observação dos Indicadores dos módulos 1A e 1B do SISH-Cana a seguinte descrição pode ser feita para o Município de Portelândia.

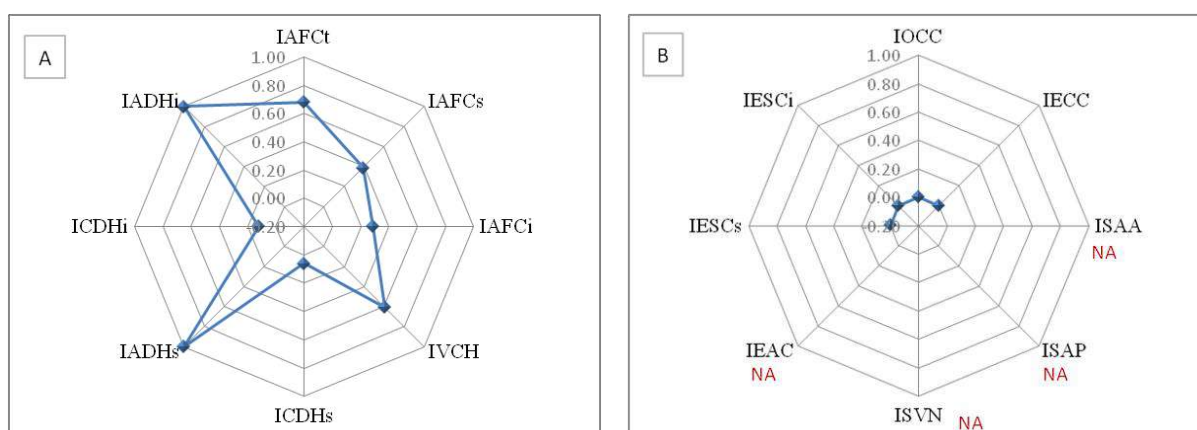
- **Descrição:** Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, indicando um risco médio (0,56), o Município de Portelândia possui 47% de seu território favorável a condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar, apresentando potencial de expansão sustentada até a área

máxima favorável a cultura irrigada, com um comprometimento de 19% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente a demanda hídrica projetada. A atividade canavieira no Município de Porteirão ocupa, atualmente (2010/2011), 2% do território total e vem crescendo com uma taxa anual na ordem de 0,33%, em um processo de expansão recente a partir do ano-agrícola de 2005/2006, constituindo somente 5% da área máxima para a expansão da cultura de maneira sustentada, em termos de atendimento da demanda hídrica estimada. Noventa e três por cento (93%) da expansão canavieira ocorreu sobre áreas tradicionalmente cultivadas com culturas agrícolas e, em 7% do processo, constatou-se a supressão da vegetação nativa. O processo de expansão da cultura canavieira, em 82% da área, ocorreu de modo tecnicamente adequado;

- **Conclusão:** O Município de Portelândia possui bom potencial de desenvolvimento sustentável para a atividade canavieira, devido à relativa abundância de áreas favoráveis à condução da cultura canavieira exclusivamente em sistema de irrigação suplementar com baixo comprometimento da disponibilidade hídrica. Contudo, requer atenção quanto à questão do risco de contaminação dos mananciais hídricos. O processo de expansão da cultura canavieira no município está apenas se iniciando e ainda há muita margem para o crescimento da atividade canavieira de forma sustentada. O processo de expansão da atividade canavieira tem avançado sobre áreas com topografia adequada e os melhores solos, concorrendo com outras culturas agrícolas que têm cedido espaço para a atividade canavieira. As áreas com solos de aptidão média e alta, com no máximo 12 de declividade, viabiliza a adoção da colheita mecanizada, permite o emprego de alta tecnologia e possibilita a obtenção de elevada produtividade.

❖ **Município de Itajá**

A figura 59 apresenta os resultados dos indicadores dos módulos 1A e 1B do SISH-Cana em gráficos do tipo radar e em forma Figurada, referentes ao município de Itajá.



INDICADORES DO MÓDULO 1A DO SISHM-CANA							
IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
0,68	0,39	0,29	0,60	0,06	1,00	0,12	1,00
INDICADORES DO MÓDULO 1B DO SISHM-CANA							
IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC _S	IESC _I
0,02	0,00	NA	NA	NA	NA	0,00	0,00

Figura 59 - Gráficos e Indicadores Figurados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canvieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canvieira; para o Município de Itajá na Microrregião de Quirinópolis, GO.

Nota: Indicadores: Módulo A: (i) IAFC_T – Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canvieira; (ii) IAFC_S – Índice de Área Favorável para a Cultura Canvieira em Sistema de Sequeiro (iii) IAFC_I – Índice de Área Favorável para a Cultura Canvieira em Sistema de Sequeiro (iv) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canvieira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canvieira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canvieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IADH_I - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canvieira em Sistema de Irrigação. Módulo B: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canvieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canvieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canvieira. Indicadores; (vii) IESC_S – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canvieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESC_I – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canvieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

A partir da observação dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana a seguinte descrição pode ser feita para o Município de Itajá:

- **Descrição:** Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, indicando um risco médio (0,60), o Município de Itajá possui 68% de seu território favorável a condução da cultura canvieira, dos quais, 39% favoráveis à condução da cultura canvieira em sistema de sequeiro e 29% em sistema de irrigação suplementar.

Apresenta, ainda, um potencial de expansão até a área máxima favorável ao cultivo da cultura tanto em sistema de sequeiro quanto de irrigado, com um comprometimento de, respectivamente, 6% e 19% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente às demandas projetadas para cada modalidade de produção. A atividade canavieira no Município de Itajá não registra até o momento (2010/2011) área significativa;

- **Conclusão:** O Município de Itajá possui bom potencial de desenvolvimento sustentável para a atividade canavieira, devido à relativa abundância de áreas favoráveis tanto à condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro quanto de irrigação suplementar com baixo comprometimento da disponibilidade hídrica. Contudo, requer atenção quanto à questão do risco de contaminação dos mananciais hídricos. O processo de implantação da cultura canavieira no município ainda não se iniciou de modo significativo.

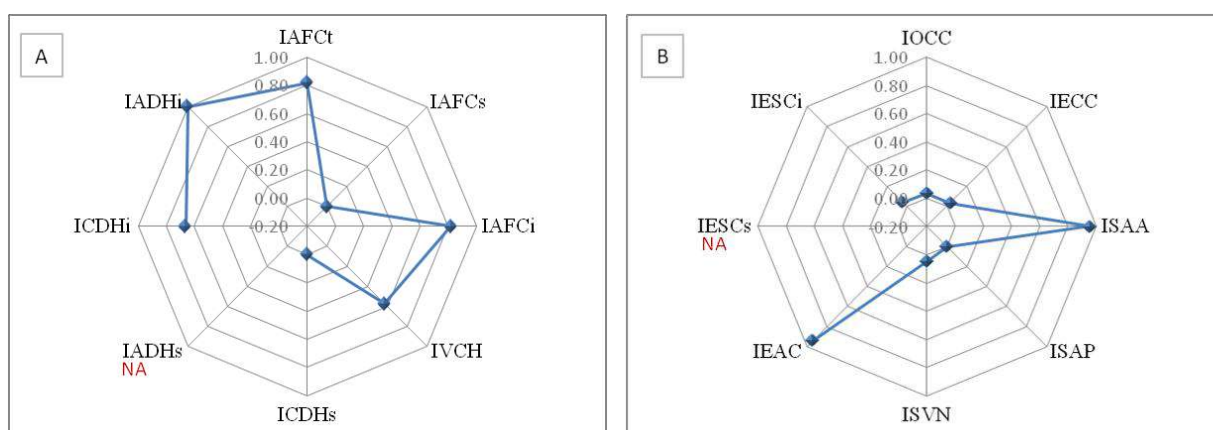
❖ *Município de Palminópolis*

A figura 60 apresenta os resultados dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana em gráficos do tipo radar e em forma tabelada, referentes ao Município de Palminópolis.

A partir da observação dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana, a seguinte descrição pode ser feita para o Município de Palminópolis:

- **Descrição:** Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, indicando um risco médio (0,57), o Município de Palminópolis possui 82% de seu território favorável a condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar. Apresenta, ainda, um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável ao cultivo da cultura irrigada, com um comprometimento na ordem de 66% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente à demanda projetada. A atividade canavieira no Município de Palminópolis ocupa, atualmente (2010/2011), 4 % do território total e vem crescendo a uma taxa anual da ordem de 0,67%, em um processo recente de expansão a partir de 2005/2006, constituindo somente 4% da área máxima para a expansão da cultura de maneira sustentada, em termos de atendimento da demanda hídrica estimada. Noventa e cinco por cento (95%) da expansão canavieira ocorreu sobre áreas tradicionalmente cultivadas com culturas agrícolas e, em 5% do processo, constatou-se a supressão da vegetação nativa. O

processo de expansão da cultura canavieira, em 95% da área, ocorreu de modo tecnicamente adequado, em solos de aptidão média e alta com no máximo 12 de declividade, o que viabiliza a adoção da colheita mecanizada, permite o emprego de alta tecnologia e possibilita a obtenção de elevada produtividade;



INDICADORES DO MÓDULO 1A DO SISHM-CANA

IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
0,82	0,00	0,82	0,57	0,00	NA	0,66	1,00

INDICADORES DO MÓDULO 1B DO SISHM-CANA

IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESCS	IESCI
0,04	0,04	0,95	0,00	0,05	0,95	NA	0,04

Figura 60 - Gráficos e Indicadores tabelados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Palminópolis na Microrregião do Vale do Rio dos Bois, GO.

Nota: Indicadores: Módulo A: (i) IAFC_T – Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iii) IAFC_I – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iv) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (vii) IADH_I - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Módulo B: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCS – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCI – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

- **Conclusão:** O Município de Palminópolis possui potencial de desenvolvimento para a atividade canavieira devido à grande abundância de áreas favoráveis à condução da cultura canavieira em sistema de irrigação suplementar, mas, a custo de alto comprometimento da disponibilidade hídrica o que revela, potencialmente, futura pressão sobre os recursos hídricos e acirramento da concorrência entre os setores multiusuários da água. Além disso, requer atenção quanto à questão do risco de contaminação dos mananciais hídricos. O município experimenta um processo de expansão recente, mas, ainda há muita margem para o crescimento da atividade canavieira de forma sustentada, porém, com a ressalva do elevado comprometimento da disponibilidade hídrica. O processo de expansão da atividade canavieira tem avançado sobre áreas com topografia adequada e os melhores solos, concorrendo com outras culturas agrícolas que têm cedido espaço para a atividade canavieira. As áreas com solos de aptidão média e alta, com no máximo 12 de declividade, viabiliza a adoção da colheita mecanizada, permite o emprego de alta tecnologia e possibilita a obtenção de elevada produtividade.

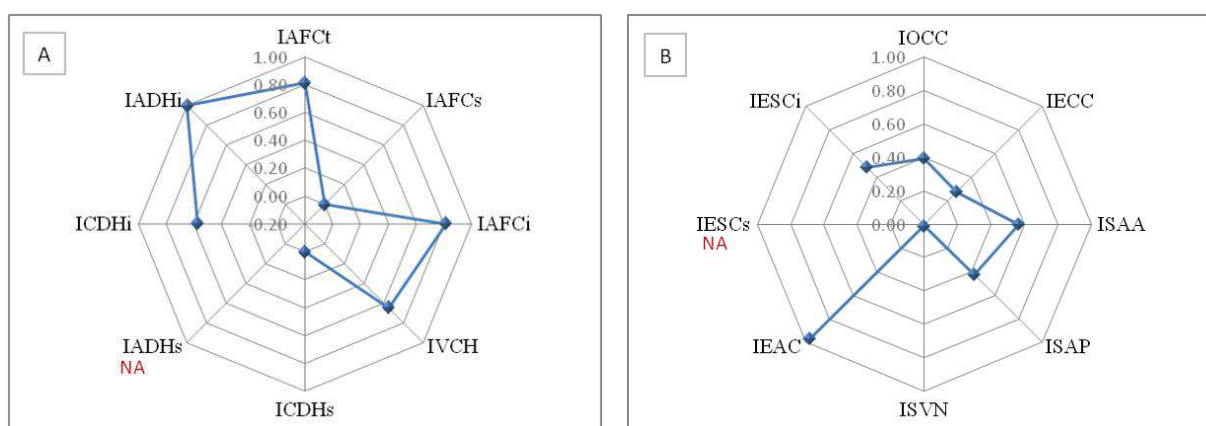
❖ *Município de Porteirão*

A figura 61 apresenta os resultados dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana em gráficos do tipo radar e em forma tabelada, referentes ao Município de Porteirão.

A partir da observação dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana, a seguinte descrição pode ser feita para o Município de Porteirão:

- **Descrição:** Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, indicando um risco médio (0,65), o Município de Porteirão possui 81% de seu território favorável a condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar. Apresenta, ainda, um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável ao cultivo da cultura cana-de-açúcar irrigada, com um comprometimento de 58% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente a demanda hídrica projetada. A atividade canavieira no Município de Porteirão ocupa, atualmente (2010/2011), 39 % do território total e vem crescendo com uma taxa anual na ordem de 4,5%, em um vertiginoso processo de expansão a partir do ano-agrícola de 2005/2006, o que já constitui 48% da área máxima favorável para a expansão da cultura de maneira sustentada, em termos de atendimento da demanda hídrica estimada. O processo de expansão canavieira ocorreu com uma proporção de 56 e 46%

sobre áreas tradicionalmente cultivadas com culturas agrícolas e áreas de pastagem, respectivamente. Em 5% da área de expansão constatou-se supressão da vegetação nativa. O processo de expansão da cultura canvieira, em 97% da área, ocorreu de modo tecnicamente adequado;



INDICADORES DO MÓDULO 1A DO SISHM-CANA

IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
0,81	0,00	0,81	0,65	0,00	NA	0,58	1,00

INDICADORES DO MÓDULO 1B DO SISHM-CANA

IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC _S	IESC _I
0,39	0,27	0,56	0,43	0,01	0,97	NA	0,48

Figura 61 - Gráficos e Indicadores tabelados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canvieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canvieira; para o Município de Porteirão na Microrregião de Meia Ponte, GO.

Nota: Indicadores: Módulo A: (i) IAFC_T – Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canvieira; (ii) IAFC_S – Índice de Área Favorável para a Cultura Canvieira em Sistema de Sequeiro (iii) IAFC_I – Índice de Área Favorável para a Cultura Canvieira em Sistema de Sequeiro (iv) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canvieira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canvieira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canvieira em Sistema de Sequeiro; (vii) IADH_I - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canvieira em Sistema de Irrigação. Módulo B: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canvieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canvieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canvieira. Indicadores; (vii) IESC_S – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canvieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESC_I – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canvieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

- **Conclusão:** O Município de Porteirão possui baixo potencial de desenvolvimento para a atividade canavieira, pois, apesar da grande abundância de áreas favoráveis à condução da cultura canavieira, a obrigatoriedade da utilização de sistema de irrigação suplementar e o alto comprometimento da disponibilidade hídrica revelam uma situação de pressão potencial sobre os recursos hídricos. Ademais o município já possui atividade canavieira há mais tempo e experimenta um forte processo de expansão recente, configurando um de pressão efetiva sobre os recursos hídricos. Ainda há margem para o crescimento da atividade canavieira de forma sustentada, mas, já se aproxima da metade da área adequada disponível. O processo de expansão da atividade canavieira tem avançado sobre áreas com topografia adequada e os melhores solos, concorrendo com outras culturas agrícolas e pecuária que têm cedido espaço para a atividade canavieira. As áreas com solos de aptidão média e alta, com no máximo 12 de declividade, viabiliza a adoção da colheita mecanizada, permite o emprego de alta tecnologia e possibilita a obtenção de elevada produtividade.

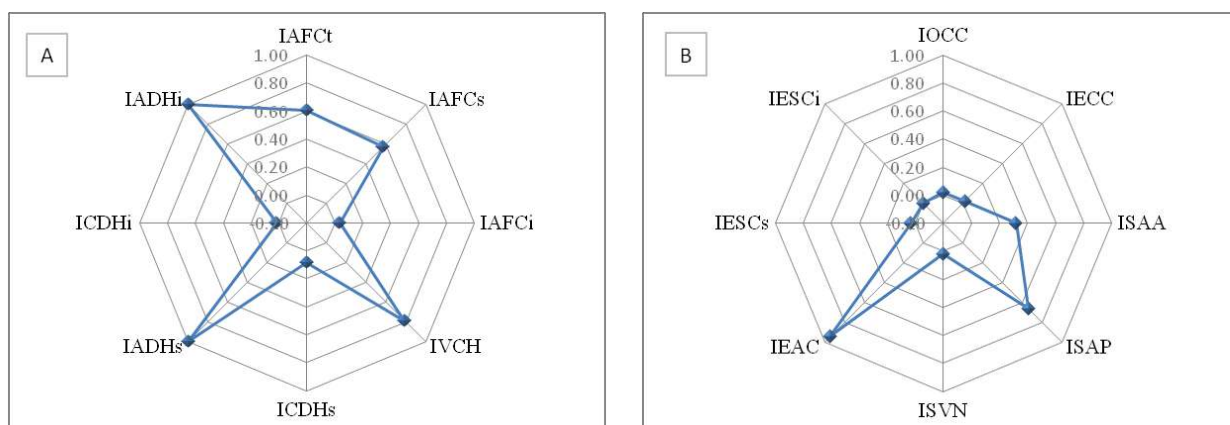
❖ *Município de Serranópolis*

A figura 62 apresenta os resultados dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana em gráficos do tipo radar e em forma tabelada, referentes ao Município de Serranópolis.

A partir da observação dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana , a seguinte descrição pode ser feita para o Município de Serranópolis:

- **Descrição:** Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, indicando um risco alto (0,79), o Município de Serranópolis possui 61% de seu território favorável a condução da cultura canavieira, dos quais, 57% favoráveis à condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro e 4% em sistema de irrigação suplementar. Apresenta, ainda, um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável à cultura tanto em sistema de sequeiro quanto de irrigado compulsória, com a utilização, respectivamente, de 8% e 1% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente as demandas projetadas. A atividade canavieira no Município de Serranópolis ocupa, atualmente (2010/2011), 2 % do território total e vem crescendo a um taxa anual da ordem de 0,33% em processo que se iniciou no ano-agrícola de 2005/2006, constituindo 3% da área máxima favorável para a expansão da cultura de maneira sustentada, em termos de atendimento da demanda hídrica estimada. Sendo que, em 32, 66 e 2% da área total da expansão canavieira

ocorreram, respectivamente, sobre áreas tradicionalmente cultivadas com culturas agrícolas, áreas de pastagem, e, sobre áreas anteriormente com vegetação nativa. O processo de expansão da cultura canavieira, em 94% da área, ocorreu de modo tecnicamente adequado;



INDICADORES DO MÓDULO 1A DO SISHM-CANA

IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
0,61	0,57	0,04	0,79	0,08	1,00	0,01	1,00

INDICADORES DO MÓDULO 1B DO SISHM-CANA

IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESCS	IESCI
0,02	0,02	0,32	0,66	0,02	0,94	0,03	0,00

Figura 62 - Gráficos e Indicadores tabelados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Serranópolis na Microrregião de Sudoeste de Goiás, GO.

Nota: Indicadores: Módulo A: (i) IAFC_T – Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iii) IAFC_I – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iv) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IADH_I - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Módulo B: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCS – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCI – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

- **Conclusão:** O Município de Serranópolis possui um ótimo potencial de desenvolvimento sustentável para a atividade canavieira, devido à abundância de áreas

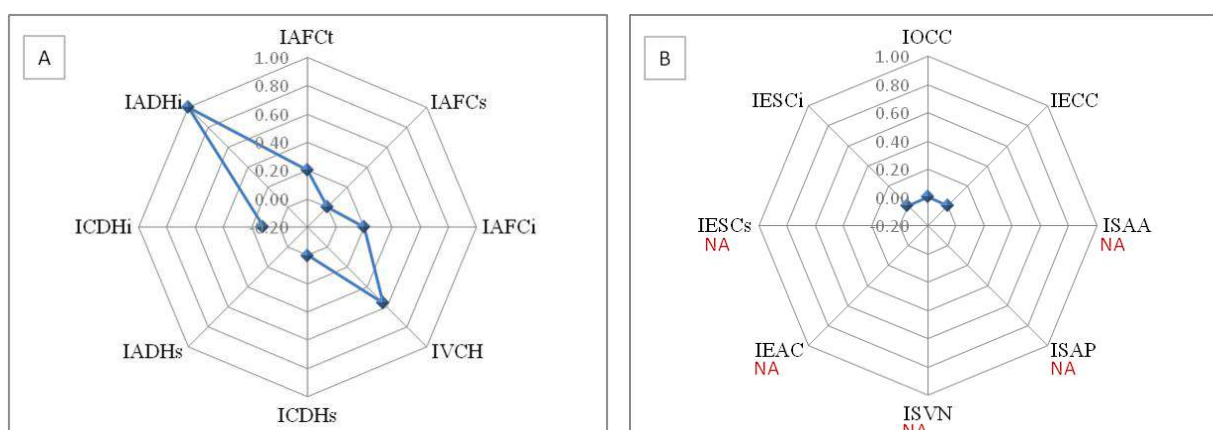
favoráveis à condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro e apenas uma pequena área de irrigação obrigatória, com muito baixo comprometimento da disponibilidade hídrica. Observa-se a alta vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos o que requer devido ordenamento territorial visando à exclusão das áreas de alta vulnerabilidade do processo produtivo. O processo de expansão da cultura canavieira no município está apenas se iniciando e ainda há muita margem para o crescimento da atividade canavieira de forma sustentada. Este processo tem ocorrido, preponderantemente, através da substituição de pastagens e, secundariamente, em substituição a outras culturas agrícolas. Em áreas com solos de aptidão média a alta, com no máximo 12 de declividade, o que viabiliza a adoção da colheita mecanizada, permite o emprego de alta tecnologia e possibilita a obtenção de elevada produtividade.

❖ *Município de Buriti Alegre*

A figura 63 apresenta os resultados dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana em gráficos do tipo radar e em forma tabelada, referentes ao Município de Buriti Alegre.

A partir da observação dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana , a seguinte descrição pode ser feita para o Município de Buriti Alegre:

- **Descrição:** Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, indicando um risco médio (0,55), o Município de Buriti Alegre possui 20% de seu território favorável a condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar. Apresenta um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável ao cultivo da cultura da cana-de-açúcar irrigada, com um comprometimento de 12% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente a demanda posta. A atividade canavieira no Município de Itajá não registra até o momento área significativa;



INDICADORES DO MÓDULO 1A DO SISH-CANA							
IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
0,20	0,00	0,20	0,55	0,00	NA	0,12	1,00
INDICADORES DO MÓDULO 1B DO SISHM-CANA							
IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC _S	IESC _I
0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00

Figura 63 - Gráficos e Indicadores Figurados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Buriti Alegre na Microrregião de Meia Ponte, GO.

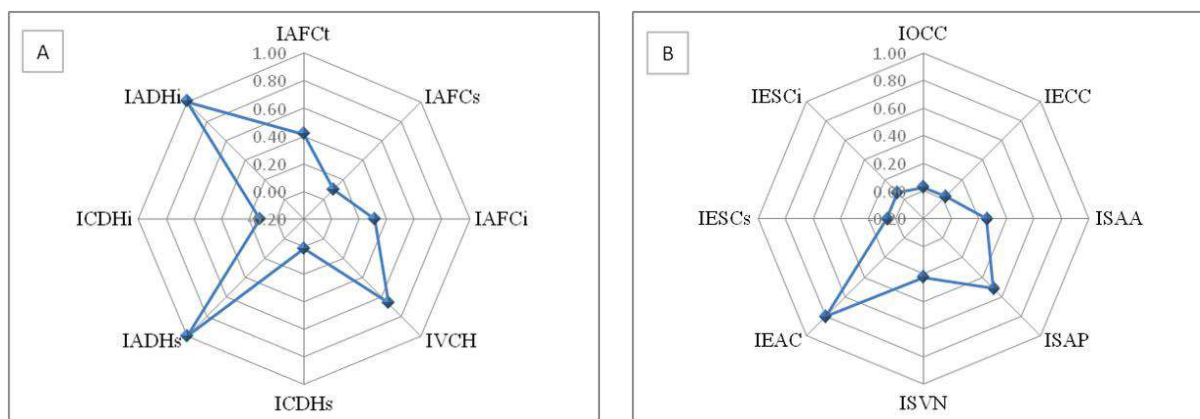
Nota, Indicadores: Módulo A: (i) IAFC_T – Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iii) IAFC_I – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iv) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (vii) IADH_I - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Módulo B: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESC_S – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESC_I – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

- **Conclusão:** O Município de Buriti Alegre possui baixo potencial de desenvolvimento para a atividade canavieira, devido à relativa escassez de áreas favoráveis à condução da cultura canavieira e abundância de áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos. Entretanto, possui áreas favoráveis à condução da cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória com relativo comprometimento da

disponibilidade hídrica o que revela uma pressão potencial sobre os recursos hídricos. O processo de implantação da cultura canaveira no município ainda não se iniciou de modo significativo.

❖ *Município de Mineiros*

A figura 64 apresenta os resultados dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana em gráficos do tipo radar e em forma Figurada, referentes ao município de Mineiros.



INDICADORES DO MÓDULO 1A DO SISHM-CANA

IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
0,41	0,10	0,31	0,66	0,01	1,00	0,12	1,00

INDICADORES DO MÓDULO 1B DO SISHM-CANA

IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESCS	IESCI
0,03	0,03	0,26	0,52	0,23	0,80	0,06	0,07

Figura 64 - Gráficos e Indicadores Figurados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canaveira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canaveira; para o Município de Mineiros na Microrregião do Sudoeste de Goiás, GO.

Nota: Indicadores: Módulo A: (i) IAFC_T – Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canaveira; (ii) IAFC_S – Índice de Área Favorável para a Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro (iii) IAFC_I – Índice de Área Favorável para a Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro (iv) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro; (vii) IADH_I - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação. Módulo B: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canaveira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canaveira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canaveira. Indicadores; (vii) IESCS – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCI – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

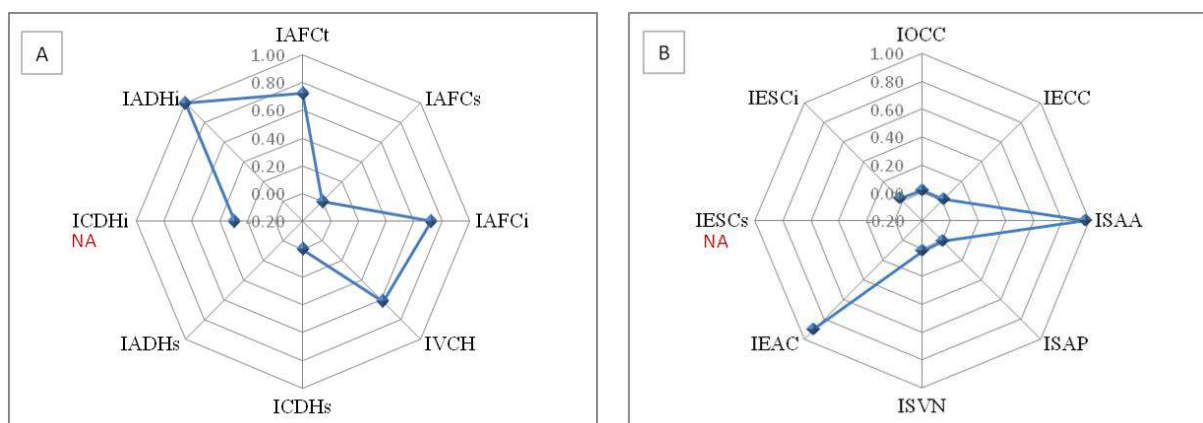
A partir da observação dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana , a seguinte descrição pode ser feita para o Município de Mineiros:

- **Descrição:** Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, indicando um risco alto (0,66), o Município de Mineiros possui 41% de seu território favorável a condução da cultura canavieira, dos quais, 10% favoráveis à condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro e 31% em sistema de irrigação suplementar. Apresenta um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável à cultura canavieira tanto em sistema de sequeiro quanto de irrigado compulsória, com a utilização, respectivamente, de 1% e 12% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente às demandas projetadas. A atividade canavieira no Município de Mineiros ocupa, atualmente (2010/2011), 3 % do território total, e vem crescendo a uma taxa anual de 0,5% em processo recente de expansão a partir do ano-agrícola de 2005/2006, constituindo 6% e 7% das áreas máximas favoráveis para a expansão da cultura de maneira sustentada para a atividade canavieira, em termos de atendimento da demanda hídrica estimada para o sistema de sequeiro e de irrigação, respectivamente. Vinte e seis e 52% do processo da expansão canavieira ocorreram, respectivamente, sobre áreas tradicionalmente cultivadas com culturas agrícolas e áreas de pastagem. Destaca-se que 23% do processo da expansão canavieira, no período, ocorreram às custas da supressão da vegetação nativa. O processo de expansão da cultura canavieira, em 80% da área, ocorreu de modo tecnicamente adequado, em solos de aptidão média e alta com no máximo 12 de declividade, o que viabiliza a adoção da colheita mecanizada, permite o emprego de alta tecnologia e possibilita a obtenção de elevada produtividade;
- **Conclusão:** O Município de Mineiros possui bom potencial de desenvolvimento sustentável para a atividade canavieira, devido da abundância absoluta de áreas favoráveis tanto à condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro quanto de irrigação suplementar com baixo comprometimento da disponibilidade hídrica, entretanto, deve-se ter atenção com as áreas de alta vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos. O processo de expansão da cultura canavieira no município está apenas se iniciando e ainda há muita margem para o crescimento da atividade canavieira de forma sustentada. Este processo tem ocorrido, preponderantemente, em áreas consideradas adequadas o que, permite elevado desempenho técnico, e, através da substituição de pastagens e culturas agrícolas, em maior e menor proporção, respectivamente. Nota-se também o registro de acentuada supressão vegetal em função

da expansão da cultura canavieira, o que revela a necessidade de cuidados no tocante à salvaguarda ambiental;

❖ *Município de Rio Verde*

A figura 65 apresenta os resultados dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana em gráficos do tipo radar e em forma tabelada, referentes ao Município de Rio Verde.



INDICADORES DO MÓDULO 1A DO SISHM-CANA

IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
0,72	0,00	0,72	0,61	0,00	NA	0,29	1,00

INDICADORES DO MÓDULO 1B DO SISHM-CANA

IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESCs	IESCi
0,02	0,02	0,97	0,01	0,02	0,91	NA	0,02

Figura 65 - Gráficos e Indicadores Figurados: (A) Módulo A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Rio Verde na Microrregião do Sudoeste de Goiás, GO.

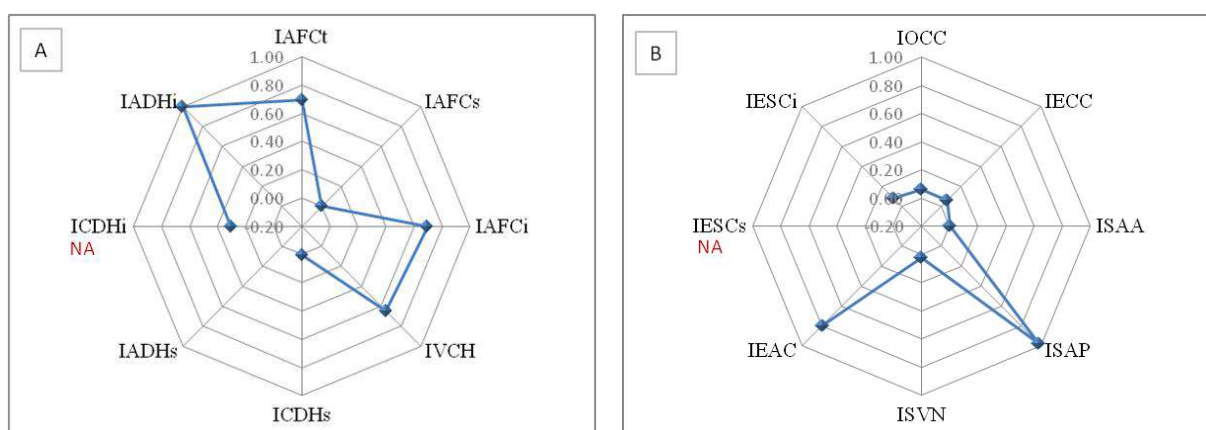
Nota: Indicadores: Módulo A: (i) IAFC_T – Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iii) IAFC_I – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iv) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IADH_I - Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Módulo B: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCs – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

A partir da observação dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana , a seguinte descrição pode ser feita para o Município de Rio Verde:

- **Descrição:** Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, indicando um risco médio (0,61), o Município de Rio Verde possui 72% de seu território favorável a condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação suplementar, apresentando potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável á cultura da cana-de-açúcar irrigada, com a utilização de 29% dos volumes hídricos disponíveis para atender plenamente a demanda posta. A atividade canavieira no Município de Rio Verde ocupa, atualmente (2010/2011), 2 % do território total e vem crescendo a um taxa anual de 0,33%, em processo recente de expansão a partir do ano-agrícola de 2005/2006, constituindo 2% da área máxima favorável para a expansão da cultura de maneira sustentada, em termos de atendimento da demanda hídrica estimada. Sendo que, 97%, 1% e 2% da área total da expansão canavieira ocorreram, respectivamente, sobre áreas tradicionalmente cultivadas com culturas agrícolas, áreas de pastagem, e, sobre áreas antes ocupadas com vegetação nativa. O processo de expansão da cultura canavieira, em 91% da área, ocorreu de modo tecnicamente adequado, em solos de aptidão média e alta com no máximo 12 de declividade, o que viabiliza a adoção da colheita mecanizada, permite o emprego de alta tecnologia e possibilita a obtenção de elevada produtividade;
- **Conclusão:** O Município de Rio Verde possui bom potencial de desenvolvimento sustentável para a atividade canavieira, devido à grande abundância de áreas favoráveis à condução da cultura canavieira exclusivamente em sistema de irrigação suplementar com médio comprometimento da disponibilidade hídrica. O processo de expansão da cultura canavieira no município está apenas se iniciando e ainda há muita margem para o crescimento da atividade canavieira de forma sustentada. Este processo tem ocorrido, preponderantemente, através da substituição de outras culturas agrícolas. Em áreas com solos de aptidão média a alta, com no máximo 12 de declividade, o que viabiliza a adoção da colheita mecanizada, permite o emprego de alta tecnologia e possibilita a obtenção de elevada produtividade.

❖ *Município de Caçu*

A figura 66 apresenta os resultados dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana em gráficos do tipo radar e em forma tabelada, referentes ao Município de Caçu.



INDICADORES DO MÓDULO 1A DO SISH-CANA							
IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	IVCH	ICDH _S	IADH _S	ICDH _I	IADH _I
0,69	0,00	0,69	0,65	0,00	NA	0,31	1,00
INDICADORES DO MÓDULO 1B DO SISH-CANA							
IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESCS	IESCI
0,06	0,06	0,00	0,98	0,02	0,80	0,00	0,08

Figura 66 - Gráficos e Indicadores Figurados: (A) Módulo 1A do SISH-Cana - Indicadores do potencial de sustentabilidade hídrica para a atividade canavieira; (B) Módulo 1B do SISH-Cana - Indicadores do processo de expansão da cultura canavieira; para o Município de Caçu na Microrregião de Quirinópolis, GO.

Nota: Indicadores: Módulo A: (i) IAFC_T – Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iii) IAFC_I – Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iv) ICDH_S – Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I – Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S – Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (vii) IADH_I – Índice de Atendimento à Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Módulo B: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira. Indicadores; (vii) IESCS – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IESCI – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

A partir da observação dos Indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISH-Cana , a seguinte descrição pode ser feita para o Município de Caçu:

- **Descrição:** Com índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, indicando um risco médio (0,61), o Município de Caçu possui 69% de seu território favorável a condução da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação

suplementar. Apresenta um potencial de expansão sustentada até a área máxima favorável à cultura da cana-de-açúcar irrigada, com a utilização de 31% dos volumes hídricos disponíveis para atender a totalidade da demanda posta. A atividade canavieira no Município de Caçu ocupa, atualmente (2010/2011), 6 % do território total e vem crescendo a uma taxa anual de 1% em processo recente de expansão a partir do ano-agrícola de 2005/2006, o que constitui 8% da área máxima para a expansão da cultura de maneira sustentada em termos de atendimento da demanda hídrica estimada. Sendo que, 98 e 2% da área total da expansão canavieira ocorreram, respectivamente, sobre áreas de pastagem e sobre áreas nas quais houve supressão da vegetação nativa. O processo de expansão da cultura canavieira, em 80% da área, ocorreu de modo tecnicamente adequado, em solos de aptidão média e alta com no máximo 12 de declividade, o que viabiliza a adoção da colheita mecanizada, permite o emprego de alta tecnologia e possibilita a obtenção de elevada produtividade.

- **Conclusão:** O Município de Caçu possui bom potencial de desenvolvimento sustentável para a atividade canavieira, devido à abundância de áreas favoráveis à condução da cultura canavieira exclusivamente em sistema de irrigação suplementar com médio comprometimento da disponibilidade hídrica. O município experimenta um processo de expansão recente, mas, ainda há muita margem para o crescimento da atividade canavieira de forma sustentada. Este processo tem ocorrido, preponderantemente, em áreas consideradas adequadas tecnicamente e através, quase que exclusivamente, sobre áreas de pastagens.

8.6.8 Estudo 8: Exemplos da utilização do SISH-Cana para a realização de consultas, seleção e ranqueamentos entre os municípios das microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte.

Considerando o SISH-Cana como uma ferramenta de análise e apoio à decisão, este estudo consiste em um exercício aplicado para a realização de consultas, seleção e ranqueamentos entre as UTAs (Municípios) a partir dos indicadores em resposta a questões hipotéticas que poderiam surgir nos processos de planejamento e gestão ambiental e setorial. Desta forma, foram simulados seis casos, onde questões afeitas aos processos de planejamento ou gestão foram sugeridas, justamente, para exemplificar como se pode utilizar

o Sistema de Indicadores para realizar a seleção e análise de municípios de acordo com critérios estabelecidos pelo próprio usuário do SISH-Cana .

❖ ***Caso 1: Ranqueamento dos municípios com maior potencial de sustentabilidade hídrica.***

No âmbito de um programa hipotético de incentivo a atividade canavieira, com vistas, por exemplo, ao estabelecimento de políticas de fomento, incentivos fiscais, ou abertura de linhas de financiamento para a implantação de sistemas de irrigação, um analista deseja classificar e ranquear os municípios segundo o potencial de sustentabilidade hídrica, estabelecendo desde modo uma escala de prioridade para a distribuição dos benefícios.

Os seguintes indicadores do Módulo 1A do SISH-Cana : (i) $IAFC_I$ - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; (ii) $ICDH_I$ - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (iii) $IADH_I$ - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação.

A princípio, bastaria considerar o $IADH_I$, uma vez que este indicador expressa, em termos relativos, a área máxima capaz de ser cultivada com a cultura canavieira com os recursos hídricos disponíveis. Desta forma, do ponto de vista estrito da sustentabilidade hídrica, quanto maior for o valor do indicador maior será o potencial de desenvolvimento sustentado da atividade canavieira. Porém, como, no presente caso, os valores dos índices $IADH_I$ atingiram o valor máximo, ou seja, a unidade (1,00), todos os municípios apresentam pleno potencial de atendimento das suas demandas hídricas projetadas. Visto que, neste caso, as áreas máximas de expansão sustentada se equivalem às áreas totais favoráveis para o desenvolvimento da atividade em regime de irrigação compulsória. Contudo a avaliação do potencial de desenvolvimento sustentável também pode ser feita com base nos indicadores $IAFC_I$ e $ICDH_I$, uma vez que, estes índices indicam a ocorrência de áreas favoráveis à atividade canavieira e o potencial hídrico regional. De forma que, quanto maior for a extensão relativa das áreas favoráveis à cultura canavieira e menor for o comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda posta, maior será o potencial de desenvolvimento sustentável para a atividade canavieira em regime de irrigação compulsória na unidade analisada. Assim sendo, conforme os requisitos e propósitos do procedimento analítico e a critério do analista, pode ser criada e aplicada qualquer regra de seleção para ranquear as UTAs de acordo com o potencial de desenvolvimento sustentável. Para efeito do exercício, por exemplo, as seguintes condições foram criadas para avaliar o potencial de desenvolvimento da atividade canavieira sob regime de irrigação suplementar para os

municípios estudados: (i) considerar apenas os municípios com no máximo 30% de comprometimento da disponibilidade hídrica; (ii) considerar apenas os municípios com no mínimo 20% de áreas favoráveis a cultura canavieira em sistema de irrigação suplementar. Adotando-se estes critérios a tabela 28 apresenta a seleção dos municípios.

Tabela 28 - Seleção dos municípios com no mínimo 20% das suas áreas territoriais favoráveis a produção canavieira em sistema de irrigação suplementar e com comprometimento da disponibilidade hídrica até no máximo igual a 30%. (continua)

UTA		INDICADORES		
Microrregiões	Município	IAFC _T	IAFC ₁	ICDH ₁
Quirinópolis	Lagoa Santa	0,85	0,20	0,08
Meia Ponte	Buriti Alegre	0,20	0,20	0,12
Vale do Rio dos Bois	Varjão	0,21	0,21	0,14
Meia Ponte	Professor Jamil	0,24	0,24	0,11
Quirinópolis	Itajá	0,68	0,29	0,12
Meia Ponte	Marzagão	0,30	0,30	0,16
Sudoeste de Goiás	Mineiros	0,41	0,31	0,12
Vale do Rio dos Bois	Campestre de Goiás	0,32	0,32	0,24
Sudoeste de Goiás	Caiapônia	0,34	0,34	0,13
Meia Ponte	Cromínia	0,35	0,35	0,17
Meia Ponte	Água Limpa	0,36	0,36	0,20
Meia Ponte	Aloândia	0,39	0,39	0,21
Quirinópolis	Itarumã	0,68	0,43	0,18
Sudoeste de Goiás	Doverlândia	0,43	0,43	0,17
Meia Ponte	Rio Quente	0,43	0,43	0,24
Meia Ponte	Pontalina	0,44	0,44	0,28
Meia Ponte	Mairipotaba	0,45	0,45	0,26
Sudoeste de Goiás	Portelândia	0,47	0,47	0,19
Meia Ponte	Morrinhos	0,51	0,51	0,27
Sudoeste de Goiás	Santa Rita do Araguaia	0,51	0,51	0,18
Sudoeste de Goiás	Palestina de Goiás	0,51	0,51	0,20
Meia Ponte	Caldas Novas	0,52	0,52	0,27

Tabela 28 - Seleção dos municípios com no mínimo 20% das suas áreas territoriais favoráveis a produção canavieira em sistema de irrigação suplementar e com comprometimento da disponibilidade hídrica até no máximo igual a 30%. (conclusão)

UTA		INDICADORES		
Microrregiões	Município	IAFC _T	IAFC _I	ICDH _I
Sudoeste de Goiás	Santo Antônio da Barra	0,65	0,65	0,29
Sudoeste de Goiás	Perolândia	0,66	0,66	0,28
Sudoeste de Goiás	Jataí	0,66	0,62	0,25
Sudoeste de Goiás	Rio Verde	0,72	0,72	0,29
Sudoeste de Goiás	Montividiu	0,77	0,77	0,30

Nota. Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_I - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; (iii) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação

Do conjunto de 61 foram selecionados 27 municípios (em ordem crescente na Tabela 27) que, segundo os critérios adotados, apresentaram maior potencialidade para o desenvolvimento sustentável da atividade canavieira em sistema de irrigação suplementar, em sentido estrito do atendimento da demanda hídrica estimada. Com a seguinte distribuição entre as microrregiões: (i) 12 municípios situados na microrregião do Sudoeste de Goiás; (ii) 10 municípios situados na microrregião de Meia Ponte; (iii) 03 municípios situados na microrregião de Quirinópolis; (iv) 02 municípios situados na microrregião do Vale do Rio dos Bois.

A suposição feita, com base nos critérios adotados, é a de que foi adotado um limite, considerado aceitável, para o comprometimento dos recursos hídricos. Ou seja, todos os municípios que apresentaram até no máximo 30% de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender à demanda potencial foram considerados em situação equivalente, sendo ranqueados pelos percentuais de área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória. Desta maneira, pode-se observar que, em ordem crescente, os três municípios de maior potencial de desenvolvimento sustentável para a cultura canavieira em sistema de irrigação são: (i) Jataí (ICDH_I=0,25; IAFC_I=0,66); (ii) Rio Verde (ICDH_I =0,29; IAFC_I =0,72); (iii) Montividiu (ICDH_I =0,30; IAFC_I =0,77). Não por acaso, todos pertencentes a microrregião do Sudoeste de Goiás, que apresenta condições

gerais mais favoráveis em relação a produção potencial de água. Em sentido oposto, nota-se que a microrregião Vale do Rio dos Bois, caracterizada como a de menor potencial hídrico, apresentou apenas dois municípios selecionados: Campestre de Goiás e Varjão.

❖ ***Caso 2: Seleção dos municípios com potencial irrelevante para o desenvolvimento da atividade canavieira em sistema de irrigação suplementar.***

No mesmo programa hipotético de incentivo a cultura canavieira, agora, se deseja identificar os municípios nos quais a política de fomentos não se aplica ou cujos setores beneficiários não necessitam receber o apoio financeiro especificado. Neste caso, se intenciona identificar os municípios que apresentam, exclusivamente, favorabilidade natural para a condução da produção canavieira em sistema de sequeiro e/ou potencial irrelevante para a produção em regime de irrigação, portanto, não necessitam de programas de fomento ou linhas de financiamento para a aquisição de equipamentos de irrigação.

Deste modo, para a identificação e seleção dos municípios conforme as premissas postas, basta observar os indicadores do Módulo 1A do SISH-Cana: (i) $IAFC_S$ - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (ii) $IAFC_I$ - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória. O analista pode, a seu critério, criar regras considerando condições que considere relevantes. Assim, poder-se-ia considerar apenas os municípios que apresentam, por exemplo, somente áreas favoráveis a produção canavieira em sistema de sequeiro e aqueles que apresentam menos do que 5% de áreas de irrigação compulsória. Assim sendo, a tabela 29 apresenta os municípios selecionados conforme os critérios estabelecidos.

Observando-se a seleção realizada e os valores dos índices $IAFC_S$ e $IAFC_I$ percebe-se que apenas sete municípios, dentre os 61 pertencentes as microrregiões de Meia Ponte, Vale do Rio dos Bois, Sudoeste de Goiás e Quirinópolis, apresentam áreas favoráveis para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro. Aporé e Chapadão do céu, ambos, em Sudoeste de Goiás, apresentam exclusivamente áreas favoráveis ao sistema de produção canavieira em sequeiro. Os municípios de Lagoa Santa, Itajá e Itarumã, situados na Microrregião de Quirinópolis e, Jataí e Mineiros na Microrregião do Sudoeste de Goiás, apresentam, em ordem crescente, áreas relativas favoráveis a condução da cultura canavieira em sistema de sequeiro além de áreas de irrigação compulsória. Nota-se que as microrregiões de Meia Ponte e Vale do Rio dos Bois não apresentam sequer um município com potencial para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de sequeiro. Com a exceção dos municípios de Aporé e Chapadão do Céu com ausência de áreas de irrigação compulsória os demais municípios da região estudada possuem áreas superiores a 5 % de áreas de irrigação

compulsória. Portanto, com base nos critérios adotados somente estes municípios estariam fora do programa de incentivos hipotetizado neste exercício.

Tabela 29 - Seleção dos municípios com favorabilidade exclusiva para a produção canavieira em sistema de sequeiro e/ou com menos de 5% de áreas propícias para o cultivo em sistema de irrigação suplementar.

UTA		INDICADORES		
Microrregiões	Municípios	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I
Sudoeste de Goiás	Aporé	0,73	0,73	0,00
Sudoeste de Goiás	Chapadão do Céu	0,69	0,69	0,00
Quirinópolis	Lagoa Santa	0,85	0,66	0,20
Quirinópolis	Itajá	0,68	0,39	0,29
Quirinópolis	Itarumã	0,68	0,26	0,43
Sudoeste de Goiás	Mineiros	0,41	0,10	0,31
Sudoeste de Goiás	Jataí	0,66	0,04	0,62
Todas	Nenhum município	-	-	< 0,05

Nota: Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAFC_I - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória.

❖ **Caso 3: Ranqueamento dos municípios com base no menor potencial de sustentabilidade hídrica.**

Considerando a hipótese de um projeto de planejamento territorial para o setor sucroalcooleiro, no qual se queira estabelecer critérios para a formulação e estabelecimento de políticas para o licenciamento de novas usinas, um analista intenciona identificar os municípios que apresentam um determinado nível de restrição para o desenvolvimento da atividade canavieira em função das limitações da disponibilidade hídrica para atender a demanda potencial da produção sob regime de irrigação suplementar. Neste caso, os seguintes indicadores do Módulo 1A do SISH-Cana devem ser observados: (i) IAFC_I - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; (ii) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (iii) IADH_I - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação.

Neste caso, o raciocínio feito é o oposto do primeiro caso apresentado, ou seja, quanto maior for o percentual de comprometimento da disponibilidade hídrica e menor for a área

atendida, maior será a restrição ou menor será o potencial de desenvolvimento sustentável da atividade canavieira na UTA considerada. O *Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação* (IADH_I) indica de forma direta e suficiente essa relação. Entretanto, como já apresentado e discutido anteriormente, o IADH_I para todos os municípios estudados atingiram o valor máximo, significando que todos os municípios apresentam, pelo menos em termos potenciais, pleno capacidade de atendimento das suas demandas de água para a efetivação da produção irrigada.

Tabela 30 - Seleção dos municípios com 50% ou mais de comprometimento da disponibilidade hídrica.

UTA		INDICADORES		
Microrregiões	Município	IAFC _T	IAFC _I	ICDH _I
Vale do Rio dos Bois	Jandaia	0,62	0,62	0,50
Vale do Rio dos Bois	São João da Paraúna	0,76	0,76	0,51
Vale do Rio dos Bois	Edealina	0,64	0,64	0,51
Vale do Rio dos Bois	Turvelândia	0,81	0,81	0,52
Meia Ponte	Porteirão	0,81	0,81	0,58
Vale do Rio dos Bois	Edéia	0,71	0,71	0,58
Vale do Rio dos Bois	Indiara	0,72	0,72	0,58
Vale do Rio dos Bois	Palmeiras de Goiás	0,74	0,74	0,59
Meia Ponte	Vicentinópolis	0,79	0,79	0,60
Vale do Rio dos Bois	Palminópolis	0,82	0,82	0,66

Nota: Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IAFC_I - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação; (iii) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação

Contudo, o analista, usuário do Sistema de Indicadores SISH-Cana, pode adotar algum critério e estabelecer um nível crítico a partir de determinado percentual de comprometimento da disponibilidade hídrica. Por exemplo, considerar como limite restritivo, valores de ICDH_I iguais ou maiores do que 0,5, independentemente dos percentuais de ocorrência de áreas favoráveis ao cultivo irrigado. De outra forma, dependendo do número de unidades agroindustriais já instaladas, limitar-se-ia o licenciamento de novas unidades nos municípios com uma projeção de 50% ou mais de comprometimento dos volumes hídricos disponíveis. Para o exercício proposto foi feita a análise comparativa entre os municípios

selecionados com base no critério explicitado, cujos resultados encontram-se apresentados na tabela 30.

Os resultados revelam que foram selecionados 10 municípios nos quais o índice $ICDH_1$ foi igual ou maior a 0,50, indicando que nestes municípios a atividade canavieira comprometeria 50% ou mais dos volumes hídricos disponíveis, tanto para o processamento agroindustrial da produção potencial quanto para o atendimento da demanda de água exigida para irrigar toda a área prevista. Sugerindo que nesses municípios possa haver certa restrição para a expansão da atividade canavieira por conta da pressão potencial sobre os recursos hídricos disponíveis.

❖ ***Caso 4: Ranqueamento dos municípios com maior risco potencial sobre os recursos hídricos.***

Em um planejamento setorial se pretende identificar os municípios que necessitam da realização de estudos mais detalhados para subsidiar a gestão dos recursos hídricos, através da implementação de políticas setoriais como, por exemplo, o estabelecimento de normas de disciplinamento e outorga de uso da água. Neste caso, o analista poderia estar interessado em identificar os municípios que apresentam condições de maior pressão potencial sobre os recursos hídricos e de maior risco potencial quanto à contaminação dos mananciais hídricos. As situações com grande potencial para a expansão da cultura canavieira e, ao mesmo tempo, com limitações de disponibilidade hídrica para atender a demanda, configuram a condição de maior pressão sobre os recursos hídricos e conseqüentemente risco de escassez ou de acirramento dos conflitos pelo uso da água. Enquanto, os municípios que apresentam os maiores índices de vulnerabilidade configuram os de maior risco quanto à contaminação dos mananciais hídricos. Assim, a observação conjunta dos indicadores de comprometimento hídrico ($ICDH_1$ e/ou $ICDH_5$) com os de favorabilidade ($IAFC_5$ e $IAFC_1$) sugere a pressão potencial e o risco aos quais poderão estar submetidos os municípios em apreciação. O índice $IVCH$, por sua vez, indica o grau de vulnerabilidade dos municípios à contaminação dos mananciais freáticos e os caudais de superfície. Desta forma, podem ser estabelecidas regras de seleção que se considere pertinentes, como por exemplo: (i) identificar os municípios que apresentam mais de 40% de índice de comprometimento dos recursos hídricos, para o sistema de sequeiro ou irrigação compulsória e, dentre estes (ii) identificar os municípios que apresentam mais de 60% de áreas favoráveis. (iii) identificar os municípios que apresentam Índices de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos iguais ou maiores do que 0,60 ($IVCH \geq 0,60$). Assim, os resultados da seleção dos municípios, considerando os critérios adotados, se encontram na tabela 31.

Tabela 31 - Seleção dos municípios com mais de 40% de comprometimento da disponibilidade hídrica acumulado para o sistema de sequeiro e de irrigação e com mais de 60% de áreas favoráveis a cultura canavieira.

UTA		INDICADORES		
Microrregiões	Município	IAFC _I	ICDH _I	IVCH
Meia Ponte	Joviânia	0,69	0,41	0,63
Sudoeste de Goiás	Maurilândia	0,89	0,41	0,64
Quirinópolis	Quirinópolis	0,76	0,41	0,67
Meia Ponte	Panamá	0,73	0,42	0,63
Sudoeste de Goiás	Gouvelândia	0,80	0,43	0,57
Meia Ponte	Cachoeira Dourada	0,79	0,43	0,62
Meia Ponte	Itumbiara	0,77	0,44	0,62
Sudoeste de Goiás	Castelândia	0,85	0,44	0,64
Meia Ponte	Inaciolândia	0,86	0,44	0,61
Vale do R. dos Bois	Acreúna	0,67	0,46	0,66
Meia Ponte	Goiatuba	0,83	0,46	0,65
Meia Ponte	Bom Jesus de Goiás	0,91	0,48	0,64
Vale do R. dos Bois	Jandaia	0,62	0,50	0,43
Vale do R. dos Bois	São João da Paraúna	0,76	0,51	0,57
Vale do R. dos Bois	Edealina	0,64	0,51	0,44
Vale do R. dos Bois	Turvelândia	0,81	0,52	0,67
Meia Ponte	Porteirão	0,81	0,58	0,65
Vale do R. dos Bois	Edéia	0,71	0,58	0,52
Vale do R. dos Bois	Indiara	0,72	0,58	0,52
Vale do R. dos Bois	Palmeiras de Goiás	0,74	0,59	0,53
Meia Ponte	Vicentinópolis	0,79	0,60	0,66
Vale do R. dos Bois	Palminópolis	0,82	0,66	0,57

Nota: Indicadores: (i) IAFC_I - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; (ii) ICDH_I - Índices de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; (iii) IVCH - Índice Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos.

Os resultados revelam que 22 municípios foram selecionados conforme os critérios estabelecidos para verificar o risco ou pressão potencial sobre os recursos hídricos disponíveis. Dentre os quais, destacam-se os municípios de Porteirão, Edéia, Indiara, Palmeiras de Goiás, Vicentinópolis, Palminópolis por apresentarem, aproximadamente, alta

favorabilidade para a expansão da cultura canavieira, acima de 70%, e, percentuais de no mínimo 60% de comprometimento da disponibilidade hídrica. Os municípios com problemas de ocorrência de áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos a partir do critério de corte adotado de $IVCH \geq 0,60$, com a exceção dos municípios de Gouvelândia, Jandaia, Edealina e Porteirão, apresentam índices de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos acima do estipulado.

❖ ***Caso 5: Avaliação das mudanças de uso da terra nos municípios que apresentaram as maiores taxas de expansão no período de 2005/2006 a 2010/2011.***

No âmbito de um processo de gestão, um analista pretende identificar os municípios que apresentaram, nos últimos seis anos, as maiores taxas de expansão da atividade canavieira e analisar as mudanças de uso do solo decorrentes. Pretende ainda analisar o potencial do emprego de colheita mecanizada para a produção canavieira. Neste caso, o analista pode utilizar os seguintes indicadores do Módulo 1B do SISH-Cana : (i) IECC – *Índice de Expansão da Cultura Canavieira*; (ii) ISAA– *Índice de Substituição de Áreas Agrícolas*; (iii) ISAP – *Índice de Substituição de Áreas com Pastagens*; (iv) ISVN – *Índice de Supressão de Vegetação Nativa*; (v) IEAC – *Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira*.

Considerando apenas os municípios com um *Índice de Expansão da Cultura Canavieira* maior ou igual a 0,05 a tabela 32 apresenta os resultados da seleção com os indicadores de adequação e de substituição de uso da terra e cobertura do solo.

Os resultados demonstram que em 20 municípios a atividade canavieira expandiu mais de 5% das áreas totais dos municípios no período de 2005/2006 a 2010/2011. Variando de 5% até no máximo 27%, para Panamá e Porteirão, respectivamente. Em mais do que 75% dos municípios estudados o processo de expansão da cultura canavieira ocorreu majoritariamente sobre áreas tradicionalmente ocupadas com agricultura, com destaque para os municípios de Chapadão do Céu, Goiatuba com 96% e 82% de toda a área expandida. Em cinco, dentre os 21 municípios selecionados, preponderou a expansão canavieira sobre áreas de pastagens com destaque para Caçu e Paranaiguara que registraram índices de até 98% e 95%. A supressão de vegetação nativa em função do processo de expansão da cultura canavieira não ultrapassou a 2% em 70% dos municípios estudados e atingiu, no máximo, a 5% nos municípios de Edéia e Cachoeira Dourada. Para todos os municípios selecionados pelo menos 80% do processo de expansão da cultura canavieira ocorreram de modo considerado adequado, ou seja, sobre áreas com aptidão edáfica média e alta e com no máximo 12 de declividade, indicando um alto potencial para a mecanização da colheita da produção da cana-de-açúcar.

Tabela 32 - Seleção dos municípios com mais de 5% de expansão no período de 2005/2006 a 2010/2011 e indicadores de adequação e de mudanças de uso da terra e cobertura do solo.

UTA		INDICADORES				
Microrregiões	Município	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC
Meia Ponte	Panamá	0,05	0,63	0,34	0,03	0,91
Quirinópolis	Caçu	0,06	0,00	0,98	0,02	0,80
Sudoeste de Goiás	Chapadão do Céu	0,06	0,96	0,00	0,04	0,83
Meia Ponte	Goiatuba	0,07	0,82	0,17	0,01	0,96
Sudoeste de Goiás	Sto Antônio da Barra	0,08	0,70	0,29	0,01	0,91
Vale do Rio dos Bois	Turvelândia	0,08	0,66	0,33	0,01	0,95
Quirinópolis	São Simão	0,08	0,47	0,52	0,00	0,82
Sudoeste de Goiás	Castelândia	0,09	0,70	0,28	0,02	1,00
Vale do Rio dos Bois	Acreúna	0,09	0,28	0,70	0,03	0,95
Vale do Rio dos Bois	Edéia	0,10	0,79	0,16	0,05	0,95
Sudoeste de Goiás	Sta Helena de Goiás	0,10	0,65	0,34	0,01	0,95
Meia Ponte	Bom Jesus de Goiás	0,11	0,79	0,19	0,02	0,98
Quirinópolis	Paranaiguara	0,11	0,03	0,95	0,02	0,86
Quirinópolis	Quirinópolis	0,12	0,46	0,53	0,01	0,90
Sudoeste de Goiás	Maurilândia	0,12	0,73	0,24	0,03	0,96
Meia Ponte	Itumbiara	0,12	0,66	0,33	0,01	0,96
Meia Ponte	Cachoeira Dourada	0,12	0,59	0,36	0,05	0,94
Meia Ponte	Vicentinópolis	0,13	0,52	0,46	0,02	0,97
Meia Ponte	Inaciolândia	0,13	0,64	0,36	0,01	0,98
Quirinópolis	Gouvelândia	0,24	0,57	0,42	0,01	0,95
Meia Ponte	Porteirão	0,27	0,56	0,43	0,01	0,97

Nota: Indicadores: (i) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (ii) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iii) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (iv) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (v) IEAC – Índice de Expansão Adequada Cultura Canavieira.

❖ *Caso 6: Avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica dos municípios que apresentaram as maiores taxas de expansão no período de 2005/2006 a 2010/2011.*

Considerando os mesmos municípios selecionados anteriormente (Caso 5) o analista deseja agora avaliar o potencial de desenvolvimento sustentável dos municípios que apresentaram as maiores taxas de expansão da atividade canavieira no período especificado. Neste caso, o analista pode utilizar os seguintes indicadores dos Módulos 1A e 1B do SISHM-Cana: (i) IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (ii) IESC_S - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IESC_I - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação. (iv) ICDH_S - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_I - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; (vi) IADH_S - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (viii) IADH_I - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação.

Considerando apenas os municípios que apresentaram índice de expansão da cultura canavieira maior ou igual a 0,05, a tabela 33 apresenta os resultados da seleção com os indicadores de sustentabilidade hídrica.

Dentre os municípios que apresentaram as maiores taxas de expansão no período especificado, 71% apresentaram índices de comprometimento da disponibilidade hídrica acima de 40% revelando uma considerável pressão potencial sobre os recursos hídricos caso o processo de expansão seja continuado. Porém, com a exceção de Maurilândia (47%), Sta Helena de Goiás (40%) e Turvelândia (30%), nos demais municípios as áreas de ocupação da cultura canavieira ainda não ultrapassam a 20% do total das áreas máximas de expansão sustentada, previstas.

Destacam-se como tendo as situações menos favoráveis para o desenvolvimento sustentável, os municípios de Vicentinópolis, Edéia e Porteirão que precisariam comprometer, respectivamente, 60%, 58% e 55% dos volumes hídricos disponíveis em seus territórios para atender as demandas hídricas estimadas para sustentar a expansão potencial. As situações mais favoráveis encontram-se nos municípios de Chapadão do Céu, Santo Antônio da Barra, Caçu e São Simão. No primeiro a cultura canavieira só atingiu até o momento 9% da área máxima de expansão sustentada e pode ser conduzida exclusivamente em sistema de sequeiro com apenas 9% da disponibilidade hídrica existente. Santo Antônio da Barra, onde a atividade canavieira já ocupa 12% da área disponível para a expansão sustentada precisaria dispor 29% dos volumes hídricos produzidos para atender a demanda potencial em caso de expansão máxima da cultura canavieira em regime de irrigação compulsória.

Tabela 33 - Seleção dos municípios com mais de 5% de expansão no período de 2005/2006 a 2010/2011 e indicadores de sustentabilidade hídrica.

UTA		INDICADORES				
Microrregiões	Município	IECC	IESC _s	IESC _i	ICDH _s	ICDH _i
Meia Ponte	Panamá	0,05	NA	0,09	0,00	0,42
Quirinópolis	Caçu	0,06	0,00	0,08	0,00	0,31
Sudoeste de Goiás	Chapadão do Céu	0,06	0,09	NA	0,09	0,00
Meia Ponte	Goiatuba	0,07	NA	0,17	0,00	0,46
Sudoeste de Goiás	Sto Antônio da Barra	0,08	NA	0,12	0,00	0,29
Vale do Rio dos Bois	Turvelândia	0,08	NA	0,30	0,00	0,52
Quirinópolis	São Simão	0,08	NA	0,13	0,00	0,33
Sudoeste de Goiás	Castelândia	0,09	NA	0,19	0,00	0,44
Vale do Rio dos Bois	Acreúna	0,09	NA	0,16	0,00	0,46
Vale do Rio dos Bois	Edéia	0,10	NA	0,14	0,00	0,58
Sudoeste de Goiás	Sta Helena de Goiás	0,10	NA	0,40	0,00	0,38
Meia Ponte	Bom Jesus de Goiás	0,11	NA	0,15	0,00	0,48
Quirinópolis	Paranaiguara	0,11	NA	0,17	0,00	0,35
Quirinópolis	Quirinópolis	0,12	NA	0,15	0,00	0,41
Sudoeste de Goiás	Maurilândia	0,12	NA	0,47	0,00	0,41
Meia Ponte	Itumbiara	0,12	NA	0,19	0,00	0,44
Meia Ponte	Cachoeira Dourada	0,12	NA	0,15	0,00	0,43
Meia Ponte	Vicentinópolis	0,13	NA	0,16	0,00	0,60
Meia Ponte	Inaciolândia	0,13	NA	0,15	0,00	0,44
Quirinópolis	Gouvelândia	0,24	NA	0,30	0,00	0,43
Meia Ponte	Porteirão	0,27	NA	0,48	0,00	0,58
Todos os municípios		IAME _s = 0,00 (NA)		IAME _i = 0,00 (NA)		

Nota: Indicadores: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Cultura Canaveira; (ii) IESC_s – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro; (iii) IESC_i – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação. (iv) ICDH_s – Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveira em Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_i – Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveira em Sistema de Irrigação; (vi) IAME_s – Índice de Área Favorável à Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro; (vii) IAME_i – Índice de Área Máxima de Expansão para Cultura Canaveira em sistema de irrigação. Obs: NA significa que o indicador não se aplica, pois o denominador da razão é igual a zero (0,0)

Em Caçu a cultura canavieira que já atingiu 8% da área de irrigação compulsória e apesar da obrigatoriedade da utilização de sistemas de irrigação suplementar apresenta uma situação relativamente favorável com uma projeção de comprometimento dos volumes hídricos disponíveis na ordem de 31%. Em São Simão a situação é similar com uma ocupação de 13% da área máxima de expansão sustentada com um comprometimento hídrico na ordem de 33% para o desenvolvimento da atividade canavieira sob regime de irrigação compulsória.

8.7 Conclusões gerais sobre o estudo de caso

Do ponto de vista dos resultados apresentados pela aplicação do SISH-Cana no Estudo de Caso dos Focos de Expansão da Cultura Canavieira na Mesorregião Sul do Estado de Goiás, pode-se concluir que:

- A microrregião de Meia Ponte não possui favorabilidade para o cultivo da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro devendo ser totalmente conduzida sob o regime de irrigação compulsória com um potencial hídrico relativamente baixo, pois, teria que comprometer 35% do volume hídrico total disponível para atender a demanda hídrica projetada para os 65% do seu território favorável ao desenvolvimento da cultura canavieira. A cultura canavieira ocupa atualmente (2010/2011) 7% da área total da microrregião com taxa de crescimento médio da ordem de 0,83% ao ano e vem substituindo áreas agrícolas (69%) e pastagens (29%) com baixa supressão da vegetação nativa.
- A microrregião de Sudoeste de Goiás possui o maior potencial de expansão sustentada, podendo expandir a área produtiva até a área máxima favorável, que equivale a 68% do seu território, com comprometimento de 2% e 17% do volume hídrico total disponível, atendendo plenamente as demandas projetadas para os sistemas de sequeiro e de irrigação compulsória, respectivamente. Cabe a ponderação, no entanto, que esta afirmação deve ser tomada com cuidado, visto que, o potencial de expansão sustentada de 100% da área total apta não leva em conta a demanda implantada e futura dos múltiplos usos da água na microrregião. Tratando-se, portanto, apenas de um valor referencial do potencial hídrico e não deve ser tomado como um valor de referência, permissivo para a expansão efetiva da atividade canavieira até o limite máximo considerado. A atividade canavieira na microrregião ainda está se iniciando e conta atualmente com 3% de sua área total ocupada (2010/2011) com a

cultura canavieira e vem crescendo a uma taxa anual média da ordem de 0,33% ocupando preponderantemente as áreas tradicionalmente agrícolas;

- A microrregião Vale do Rio dos Bois possui o mais baixo potencial hídrico das microrregiões estudadas com um comprometimento estimado em 44% do volume hídrico total disponível para atender plenamente a demanda projetada dos 57% do seu território favorável ao desenvolvimento da cultura canavieira, exclusivamente, em sistema de irrigação compulsória. A microrregião de Vale do Rio dos Bois conta atualmente com 6% de sua área total ocupada e vem crescendo com taxa anual média da ordem de 0,67%, ocupando preponderantemente as áreas agrícolas (59%) seguido das áreas de pastagens (38%) com baixa supressão da vegetação nativa;
- A microrregião de Quirinópolis possui médio potencial hídrico, apresentando a possibilidade para uma expansão sustentada até a área máxima favorável, mas, com comprometimento de 2% e 27% do volume hídrico total disponível para atender plenamente as demandas projetadas para os sistemas de sequeiro e de irrigação compulsória, respectivamente. Cabe aqui, as mesmas considerações feitas para a região do Sudoeste de Goiás. A atividade canavieira na microrregião é recente e ocupa atualmente (2010/2011) 6% de área total do seu território, mas, apresenta para o período a maior taxa de crescimento com um valor médio da ordem de 1% ao ano e vem ocupando predominantemente as áreas com pastagens (66%) e secundariamente as áreas agrícolas (33%) com baixa supressão da vegetação nativa;
- Os municípios das microrregiões de Quirinópolis e, sobretudo, Sudoeste de Goiás apresentam maior potencial de sustentabilidade hídrica com destaque para os municípios de Caiapônia, Dorvelândia, Mineiros, Portelândia, Palestina de Goiás, Sta Rita do Araguaia, Itajá, Itarumã, Lagoa Santa, Aporé, Chapadão do Céu;
- Os municípios menos favoráveis quanto à sustentabilidade hídrica foram: Edealina, Edéia, Indiará, Jandaia, Palmeiras de Goiás, Palminópolis, São João da Paraúna, Turvelândia, situados na Microrregião do Vale do Rio dos Bois, e, Porteirão na Microrregião de Meia Ponte;
- Trinta e seis dos sessenta e um municípios pertencentes às microrregiões de Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte já possuem atividade canavieira, porém a maioria apresenta áreas de cultura da cana-de-açúcar relativamente pequenas diante das áreas totais dos seus territórios;

- Os municípios que apresentaram as maiores áreas com a cultura canavieira, em ordem crescente, foram: Gouvelândia e Turvelândia, ambos com 24%, Sta Helena de Goiás com 35%, Porteirão com 39% e Maurilândia com 42%;

8.8 Considerações sobre as metodologias, critérios e a aplicação do SISH-Cana no estudo de caso

Algumas considerações sobre as metodologias e critérios adotados, assim como, sobre a aplicação do SISH-Cana no presente estudo de caso devem ser observadas.

Em relação aos critérios adotados para os procedimentos metodológicos de extração e cálculo dos dados e/ou parâmetros para a determinação dos indicadores utilizados no estudo de caso, observa-se que todos foram tecnicamente justificados e, quando pertinente, bibliograficamente referenciados. Entretanto, em um caso real, dependendo dos objetivos da aplicação do Sistema SISH-Cana os critérios podem ser revistos ou reajustados. Contudo, faz-se o alerta para que, na ocasião da veiculação dos indicadores, os critérios técnicos adotados sejam devidamente explicitados para que se possa interpretar convenientemente os resultados apresentados.

No estudo nº 8, onde foram, para efeito de exercício, sugeridos vários casos hipotéticos, cabe esclarecer que não se intencionou defender a validade dos critérios de seleção adotados e sim demonstrar a aplicabilidade e flexibilidade do Sistema de Indicadores proposto, objeto desta tese. Com efeito, qualquer critério pode ser estabelecido, conforme os objetivos da análise.

Cumpra, também, chamar a atenção para o fato de que o Sistema de Indicadores SISH-Cana funciona como uma ferramenta para descrever ou caracterizar Unidades Territoriais de Análise e está sendo proposto, justamente, para realizar análises comparativas entre elas. Portanto, os indicadores são expressos em valores relativos que descrevem a situação de cada Unidade Territorial analisada. Por isso, no processo de julgamento, deve-se estar atento para a relatividade dos valores dos indicadores, sendo necessário, por vezes, ter o conhecimento dos valores absolutos das grandezas envolvidas. Por exemplo, uma unidade que apresente um valor do $IAFC_I$ (Índice de área favorável a cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória) maior do que o da outra unidade cotejada, não significa, em termos absolutos, que a mesma tenha uma área favorável, efetivamente maior, para a produção canavieira em

sistema de irrigação. Por esta razão é que tem sido preconizada, neste trabalho, a veiculação conjunta dos indicadores com os valores absolutos das grandezas que os definem. Sendo assim, o analista, poderia se valer dessa informação criando regras específicas que lhe permitam aperfeiçoar a análise que lhe convém.

Em relação às metodologias adotadas e apresentadas no presente Estudo de Caso, algumas merecem menção. Primeiramente, cabe destacar as limitações dos métodos de determinação de indicadores de base hidrológica que são aplicados às unidades territoriais político-administrativas, cuja incompatibilidade inerente à lógica dos dados hidrológicos induz a adoção de certos pressupostos que são válidos para todos os fins práticos, mas, carecem de maior rigor. É o caso específico dos indicadores: *Índices de comprometimento da disponibilidade hídrica geral* e *Índices de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira* - aplicados ao nível de gestão estratégica. Os procedimentos metodológicos propostos se basearam em um modelo espacializado da vazão específica que constitui um *Índice hidrológico* bastante utilizado em estudos regionais. O problema principal sobre o qual se pretende chamar a atenção não diz respeito às limitações do modelo utilizado, em termos de espacialização do *Índice hidrológico* adotado para a estimativa da disponibilidade hídrica, mas, a ponderação da área de contribuição feita com base na área territorial das UTAs. Sendo assim, ainda que justificada pelos pressupostos apresentados, a solução poderia ser aperfeiçoada. Fica, portanto, posta a sugestão de uma linha de pesquisa científica aplicada para melhor elucidar a questão: *Como ponderar a área de contribuição (drenagem fluvial) de uma unidade territorial de análise político-administrativa que foge a lógica natural das bacias hidrográficas?*

Outra questão metodológica que não se pode deixar de comentar, diz respeito aos procedimentos metodológicos adotados no Estudo de Caso para se determinar os *Índices de substituição de áreas agrícolas ou de pastagens* e o *Índice de supressão da vegetação nativa*. Foi apresentado que, para se determinar as áreas que estão sendo substituídas bastaria a aplicação de um modelo/classificação de Uso e Cobertura do Solo no início e final do período de análise considerado. Contudo, a integração de dados multifontes (PROBIO/MMA, CANASAT/INPE), como foi feito no presente Estudo de Caso introduzem inevitavelmente imprecisões e incertezas devido às diferenças nas tipologias de classificação de uso e cobertura da terra, nos métodos de classificação e nas escalas espaço-temporais. Sobretudo, porque se trata, na maioria das vezes, de áreas restritas, com pequena extensão em área, onde erros cartográficos ou derivados das operações de geoprocessamento se propagam falseando os resultados que devem, neste caso, serem tomados com cuidado. Ademais, deve-se ter

cuidado, porque a divulgação desses resultados tem um peso político no embate entre os diferentes interesses corporativos relacionados aos distintos setores de produção agropecuária. Que fique claro, que a questão política não faz parte das ponderações deste trabalho de cunho, exclusivamente, acadêmico, mas, a responsabilidade da divulgação de resultados é de responsabilidade de quem os produz. Portanto seria de valia o estabelecimento de métodos de maior acurácia para a determinação das áreas de mudança de uso do solo, mesmo considerando o caráter de avaliação estratégica que, a princípio, não exige elevada precisão e acurácia. Sendo assim, uma alternativa metodológica possível e pertinente seria utilizar as metodologias de classificação de Uso e Cobertura do Solo que se baseiam em perfis temporais de NDVI estimado por Sensoriamento Remoto. Neste sentido, algumas iniciativas estão sendo desenvolvidas por alguns grupos de pesquisa no Brasil. Dentre eles, destaca-se, por ser este autor integrante, o grupo de pesquisa da Dra. Margareth Simões (PPGMA/UERJ e Embrapa) que desenvolveu e vem aperfeiçoando um algoritmo com este propósito (JONATHAN 2005; ARVOR et al. 2011) e, pela proximidade de parceria, o grupo do Dr. Bernardo Rudorff do INPE que, além do CANSAT, também tem produzindo nesta área científica (SUGAWARA E RUDORFF, 2011; SANTOS et al. 2011). As vantagens destas abordagens metodológicas são várias, pois, já incorporam a multitemporalidade. Além disso, essa metodologia possibilita se trabalhar de forma precisa somente nas áreas de expansão da cultura canvieira, identificadas pelo Projeto CANASAT (INPE), permitindo obter maior acurácia na estimativa das áreas intercambiadas pelas culturas agrícolas e/ou atividades agropecuárias. Contudo, não existindo um programa oficial que levante esses dados de forma sistemática, estes métodos têm que ser aplicados de forma propositada, considerando toda a limitação implicada para os casos de levantamentos de grande expressão geográfica.

9 APLICAÇÃO DO SISH-CANA NO NÍVEL DE GESTÃO TÁTICA: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE, ESTADO DE GOIÁS.

9.1 Introdução

O presente capítulo apresenta o desenvolvimento metodológico e os resultados do Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - Estado de Goiás, realizado com o propósito de demonstrar a aplicabilidade do *Sistema de Indicadores para a Avaliação da Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira - SISH-CANA*, como uma ferramenta de análise e tomada de decisão no nível tático, orientada ao planejamento territorial, ambiental ou setorial relacionados à agricultura e/ou aos recursos hídricos.

O capítulo foi estruturado e subdividido em quatro partes com seus subítens, conforme a seguir:

- **Parte 1. Delineamento do Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO:**
 - *Objetivo do Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO;*
 - *Delimitação da área do Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO;*
 - *Estruturação do Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO.*
- **Parte 2. Descrição Ambiental da BH do Rio Verde - GO:**
 - *Localização Geográfica da BH do Rio Verde - GO;*
 - *Diagnóstico ambiental integrado da BH do Rio Verde - GO.*
- **Parte 3. Desenvolvimento do Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO:**
 - *Procedimentos metodológicos de determinação dos indicadores da Parte 2- Nível Tático do SISH-Cana ;*
 - *Apresentação e discussão dos resultados da avaliação da BH do Rio Verde- GO.*
- **Parte 4. Considerações sobre a Aplicação da Parte 2- Nível Tático do SISH-Cana**

9.2 Delineamento do Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO

9.2.1 Objetivo do Estudo de Caso da BH do Rio Verde – GO

Com o propósito de demonstrar a aplicabilidade da Parte 2: Nível Tático Sistema de Indicadores para a Avaliação da Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira - SISH-CANA , foi conduzido um estudo de caso cujo objetivo consistiu em realizar, com base nos indicadores propostos, uma avaliação da Bacia Hidrográfica do Rio Verde, situada na Microrregião do Sudoeste do Estado de Goiás.

9.2.2 Delimitação da Área de Estudo de Caso da BH do Rio Verde – GO

Como apresentado no ítem 6.9.2 deste trabalho, as Unidades Territoriais de Análise (UTAs) adequadas para a aplicação dos indicadores componentes da Parte 2 do SISH-CANA se restringem às: (i) bacias hidrográficas; (ii) subáreas de contribuição de bacias hidrográficas (a montante de seções fluviométricas); (iii) UGRHIs (Unidades de Gestão Integrada de Recursos Hídricos). Desta forma, a bacia hidrográfica do Rio Verde situada no Estado de Goiás foi escolhida para a realização do presente estudo .

Para atender ao propósito explicitado, na dimensão espacial, subdividiu-se a área total da bacia hidrográfica do Rio Verde, adotando-se como Unidades Territoriais de Análise (UTA), três subáreas ou seções correspondentes às áreas de contribuição ou drenagem a montante das seguintes seções de monitoramento fluviométrico da Agência Nacional de Águas - ANA: Estação Fluviométrica de Maurilândia, da Ponte do Rio Verdão, da Ponte de Rodagem. Na dimensão temporal, para a avaliação do processo de expansão da cultura canavieira adotou-se o período compreendido entre os anos agrícolas de 2006/2007 a 2010/2011.

A figura 66 apresenta um mapa com as respectivas subáreas ou seções adotadas como UTAs para a consecução do Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO.

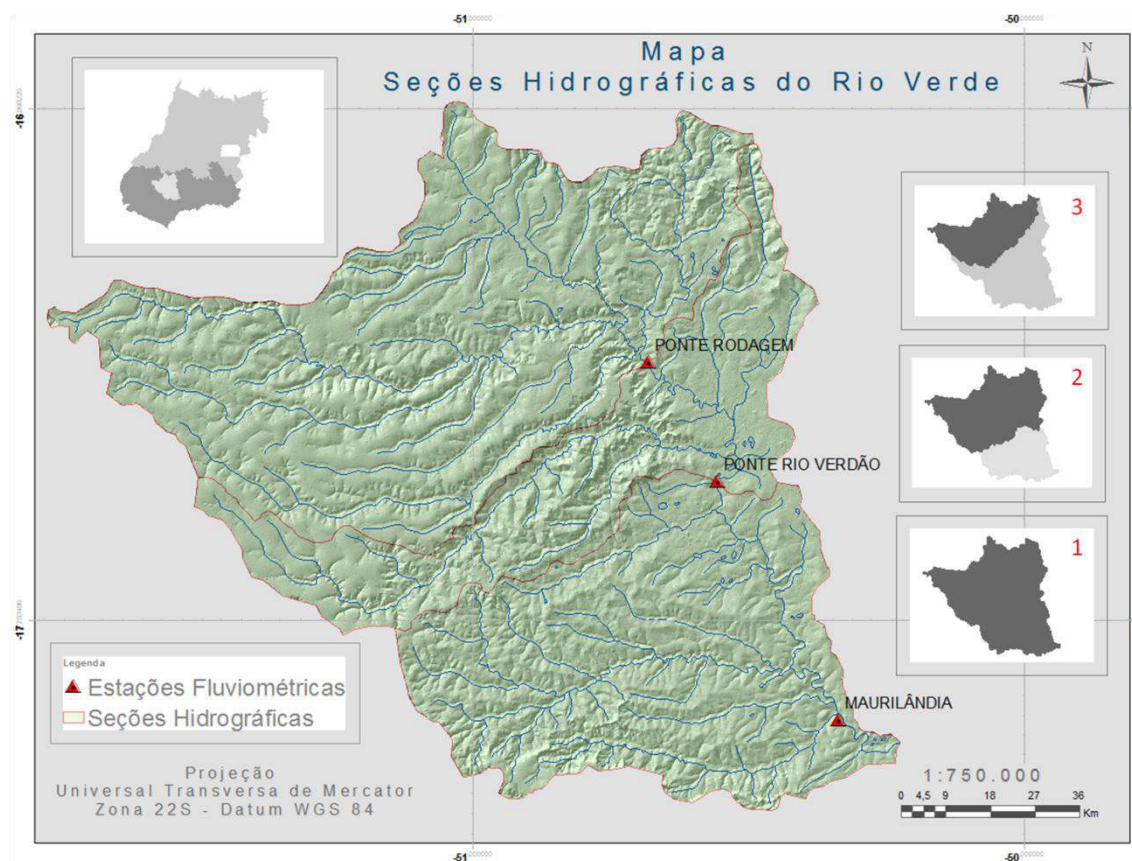


Figura 66 - Seções (UTAs) e Estações Fluviométricas (Maurilândia; Ponte do Rio Verdão e ponte de Rodagem) adotadas para o Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO.

Nota: Seção 1, Seção 2 e Seção 3 encontram-se identificadas pelas figuras numeradas (vermelho) a direita do mapa.

9.2.3 Estruturação do Estudo de Caso da BH do Rio Verde – GO

Com base na capacidade de avaliação analítica e síntese descritiva dos indicadores do SISH-Cana, o Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO consistiu na avaliação do potencial geral da bacia para o desenvolvimento sustentável da atividade canieira, da sustentabilidade hídrica dos sistemas de produção canieira e do processo de expansão da cultura canieira em curso.

Com o propósito de exemplificar as diferentes possibilidades de aplicação do Sistema de Indicadores em demonstração, o Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Verde foi dividido em dois estudos distintos. O primeiro faz uma avaliação analítica da BH do Rio Verde a partir da aplicação e interpretação dos indicadores de cada módulo (Módulos 2A,

2B/C e 2D) e das grandezas físicas que os definem. O segundo estudo apresenta uma síntese descritiva da BH do Rio Verde, considerando e interpretando todos os indicadores em conjunto.

Considerando as subáreas da BH do Rio Verde, adotadas como UTAs e designadas como Seções: 1, 2, 3 - o estudo de caso proposto foi subdividido nas seguintes partes com seus itens:

➤ **Parte 1- Avaliação Analítica da BH do Rio Verde - GO:**

- *Estudo nº 1: Análise do potencial geral da BH do Rio Verde - GO para o desenvolvimento sustentável da atividade canavieira;*
- *Estudo nº 2: Análise do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira em sistema de sequeiro e sistema de irrigação suplementar na BH do Rio Verde - GO;*
- *Estudo nº 3: Análise do processo de expansão da cultura canavieira ocorrido na BH do Rio Verde - GO, durante o período de 2006/2007 a 2010/2011.*

➤ **Parte 2 - Síntese Descritiva da BH do Rio Verde - GO:**

- *Estudo nº 4: Síntese descritiva do potencial de sustentabilidade hídrica e do processo de expansão da cultura canavieira ocorrido no período de 2006/2007 a 2010/2011 na BH do Rio Verde - GO.*

9.3 Descrição Ambiental da BH do Rio Verde – GO

9.3.1 Localização Geográfica da BH do Rio Verde – GO

A abrangência do espaço geográfico para a realização do presente estudo de caso se limita à Bacia Hidrográfica do Rio Verde que, apresentando uma área aproximada de 12.725,2 km², encontra-se circunscrita nas coordenadas: -51,77 -17,256 150,271 -18.024 (graus decimais). A referida bacia se encontra situada nas microrregiões do Sudoeste de Goiás e do Vale do Rio dos Bois, ambas na Mesorregião do Sul Goiano no Estado de Goiás, de acordo com a divisão regional do Brasil (IBGE), ou, segundo as Unidades de Planejamento adotadas na esfera estadual, no encontro das regiões de planejamento do Sul, Oeste e Sudoeste Goiano. Desta forma, a Bacia Hidrográfica do Rio Verde circunscreve,

parcialmente, os municípios de Acreúna, Caiapônia, Turvelândia, Maurilândia, Paraúna e Rio Verde, e, abrange, totalmente, os municípios de Montividiu, Santa Helena de Goiás e Santo Antônio da Barra.

Ponto de vista hidrográfico, segundo a divisão adotada pelo IBGE e ANA, a bacia do Rio Verde ou Verdão constitui uma bacia tributária da bacia do Rio dos Bois que se encontra inserida na sub-bacia do Rio Paranaíba, pertencente à bacia do Rio Paraná que, por sua vez, compõem a grande bacia internacional do Rio da Prata.

9.3.2 Diagnóstico ambiental da Área de Estudo de Caso

A descrição das variáveis físico-bióticas relacionadas aos diversos estudos temáticos que balizaram o diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio Verde, como: clima, geomorfologia, geologia, hidrogeologia, solos, uso e cobertura do solo - de forma geral, já foi contemplada no item 8.4: Diagnóstico ambiental da Área de Estudo de Caso (Nível de gestão estratégica). Sendo assim, no presente item, serão apresentados somente os mapas temáticos com o recorte da bacia hidrográfica do Rio Verde, de modo a orientar o leitor para a avaliação ambiental da área específica da citada bacia, objeto do estudo de caso ora em apresentação.

Assim, as seguintes figuras serão apresentadas: (i) Figura 67: Mapa de Geomorfologia e de Geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Verde; (ii) Figura 68: Mapa de Hidrogeologia e de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde; (iii) Figura 69: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Verde

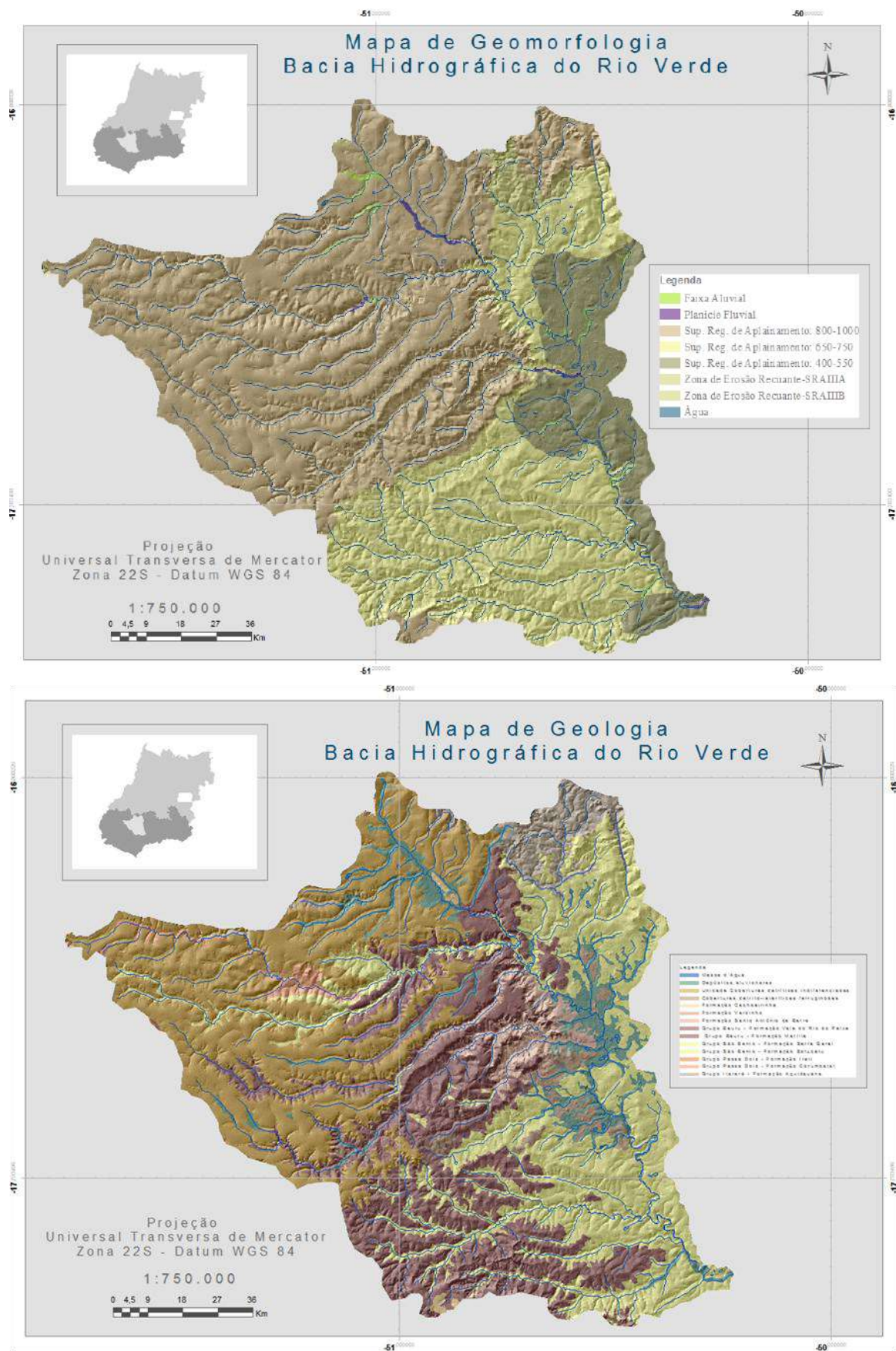


Figura 67 - Cartas de Geomorfologia e Geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Verde,GO.
Fonte: SIEG -/ SEGPLAN / GOIÁS

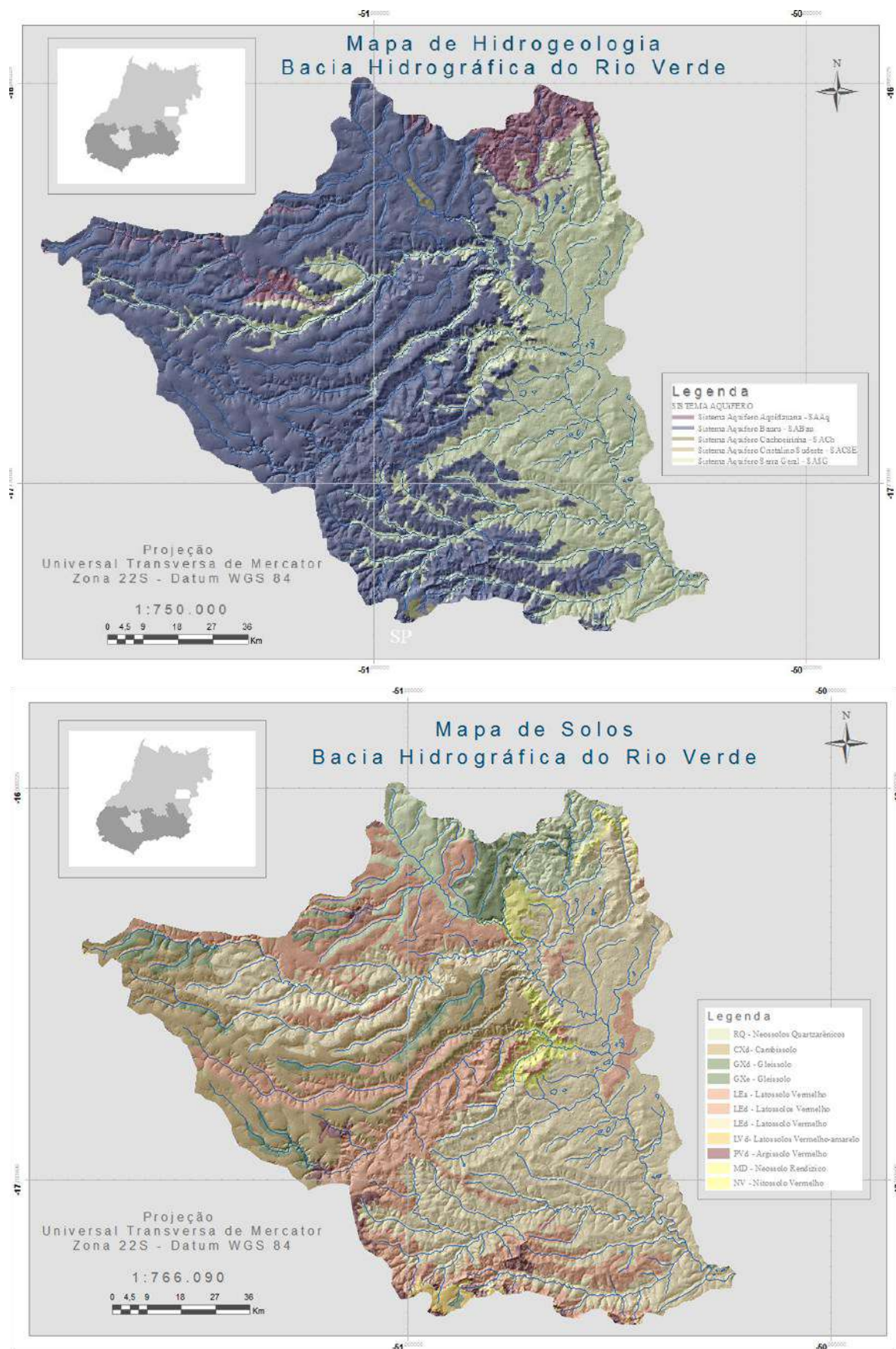


Figura 68 - Cartas de Hidrogeologia e Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde,GO. Fonte: SIEG -/ SEGPLAN / GOIÁS; ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009)

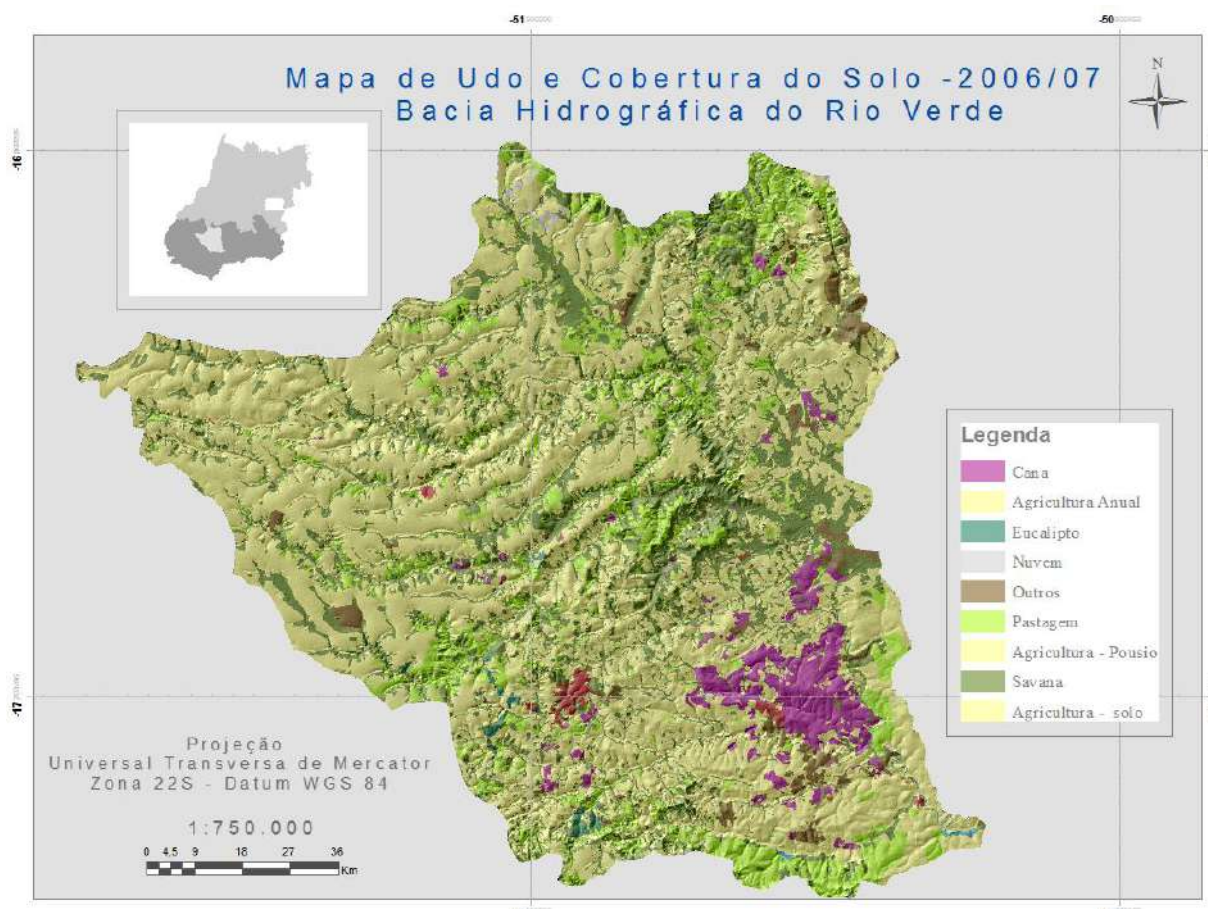


Figura 69 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Verde – GO.
Fonte: CANASAT/INPE e PROBIO (MMA, 2002)

9.4 Desenvolvimento do Estudo de Caso da BH do Rio Verde – GO

9.4.1 Principais etapas e recursos computacionais.

As principais etapas e recursos computacionais utilizados, a seguir, encontram-se sumarizados:

- **1ª etapa - Aquisição dos dados:** A primeira etapa consistiu na aquisição, seleção e organização dos dados utilizados para a geração de modelos ou estimativa direta dos dados para o cálculo dos indicadores. Os dados alfanuméricos compilados ou armazenados em banco de dados em formato digital (*xlsx; accdb do Excel e Acces do Microsoft office /Windows*) ou dados espaciais em formato digital (*shape*) foram adquiridos diretamente por *download* dos bancos de dados das fontes detentoras que

os dispõem *on line* ou adquiridos após solicitação às instituições e/ou aos autores dos modelos utilizados;

- **2ª etapa - Tratamento dos dados:** A segunda etapa consistiu na estruturação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando-se o pacote computacional *ArcGIS 10* da *ESRI*, onde os arquivos *shapes* referentes aos diferentes temas ou modelos foram organizados e trabalhados. Os dados hidrológicos foram trabalhados com o auxílio dos pacotes computacionais *SisCAH 1* e *Hidro 1.2 (sch)* e exportados para planilhas *Excel/ Microsoft office /Windows*;
- **3ª etapa – Seleção e Extração dos dados** - Após o geoprocessamento, os dados foram selecionados e extraídos das Figuras de atributos em formato *dbf* do *ArcMap 10/ArcGIS/ESRI* e exportados para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office/Windows*;
- **4ª etapa – Cálculo dos indicadores** - Os dados exportados foram organizados, tabulados e armazenados em planilhas do *Excel/Microsoft office/Windows* onde foi feito a avaliação da consistência dos dados e efetuados os cálculos dos referidos indicadores seguido da elaboração dos gráficos e Figuras de apresentação dos resultados.

9.4.2 Sistemas de coordenadas e de projeção adotados para a base de dados espaciais utilizados no Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO.

Todas as bases cartográficas e/ou *shapes* temáticos utilizados no Estudo de Caso da BH do Rio Verde - GO foram adquiridos ou reprojatados para a o sistema UTM (Sistema Universal Transversal de Mercator), com Elipsóide e Datum em WGS84 (World Geodetic System 1984).

Estando a área de interesse entre as latitudes 84° N e 80° S e inserida, aproximadamente, na parte central de um único fuso (22S), justifica-se a opção pelo Sistema UTM por tratar-se de um Sistema de Projeção e de Coordenadas cuja alteração das áreas (distorções) não ultrapassa 0,5% (fator de escala $k = 0,9996$ com erro limitado a 1/2.500 no meridiano central e a 1/1030 nos extremos o fuso). O Sistema UTM é, portanto, adequado para os mapeamentos básicos em escalas médias e grandes, tendo sido adotado pelo IBGE (IBGE: Resolução nº 23, de 21 de fevereiro de 1989) para a cartografia topográfica e temática do Mapeamento Sistemático Brasileiro (UTM nas escalas 1:250 000, 1:100 000, 1:50 000).

9.4.3 Procedimentos metodológicos e critérios adotados para o cálculo dos indicadores da Parte 2- Nível Tático do SISH-CANA.

A seguir serão apresentados os processos metodológicos e critérios técnicos adotados para a elaboração dos modelos utilizados para a extração dos dados (grandezas físicas) exigidos para o cálculo de cada indicador ou grupo de indicadores pertencentes aos Módulos A, B/C e D da Parte 2 (Nível Tático) do SISH-CANA.

9.4.3.1 Procedimento metodológico 1

O procedimento metodológico 1 diz respeito à determinação dos indicadores: (i) IABH - Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica; (ii) IRVN - Índice de Remanescente de Vegetação Natural - pertencentes a Categoria 3 e descrito do item 7.1.2.1. integrando o Grupo 1 do Módulo 2A do SISH-CANA : Indicadores do estágio de alteração/antropização do uso e ocupação do solo.

Como foi visto anteriormente, estes índices ao indicar de forma direta o estágio de alteração e/ou antropização do uso e ocupação do solo, sinalizam, indiretamente, para o estágio de desenvolvimento socioeconômico atual e o grau de afastamento das condições físico-bióticas que determinavam o regime hidrológico natural que a bacia hidrográfica apresentava. O quadro 36 apresenta os indicadores IABH e IRVN com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 36 - Grupo 1 do Módulo 2A do SISH-CANA : Indicadores do estágio de alteração/antropização do uso e ocupação do solo.

INDICADORES	FÓRMULA
IABH - Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica	$IABH = S_{AP}/S_{UTA} \rightarrow S_{AP} = 2xp$
IRVN - Índice de Remanescente de Vegetação Nativa	$IRVN = S_{VN}/ S_{UTA}$

Nota: (i) S_{UTA} - Área da Unidade territorial de Análise (BH); S_{AP} - Área antropizada ponderada; (iii) S_{VN} - Área de vegetação natural remanescente.

Os dados utilizados para se calcular os indicadores IAHB e IRVN podem ser extraídos de qualquer mapeamento de uso da terra e cobertura do solo ou ocupação do solo referente à região de interesse. Desta forma, se faz necessário a elaboração ou obtenção de um

mapeamento temático de Uso e Cobertura do Solo na escala adequada para que se possa realizar a extração dos dados requeridos para o cálculo dos indicadores propostos. No presente caso utilizou o Mapeamento de Uso das Terras do Sudoeste Goiano realizado no Projeto Aduba Brasil (Embrapa) referenciado também em

Ferreira *et al.* (2009). Para a realização do referido mapeamento, foram utilizadas imagens orbitais, com resolução de 30 metros, provenientes do sensor TM do satélite Landsat-5, que foram re-amostradas para 50 metros, pois, segundo os autores, este procedimento visou facilitar o processamento visto que, além da grande extensão espacial da área a ser mapeada, a escala de trabalho tinha sido definida como de 1:50.000. Foram utilizadas imagens correspondentes ao período de verão (10/02/2007 e 05/03/2007) e de inverno (08/05/2007 e 17/05/2007), tendo sido utilizadas as bandas espectrais TM3, TM4 e TM5, com percentual aceito de cobertura por nuvens de até no máximo 10%. Alertaram os autores que o município de Rio Verde não foi totalmente coberto, ficando uma pequena parte ao sul ausente das imagens. Um dos pontos fortes deste trabalho foi que, a partir dos mosaicos de imagens e dados complementares da produção agrícola municipal (IBGE, 2006; *apud* FERREIRA *et al.*, 2009) foi realizado um rigoroso trabalho de campo no qual cerca de oitenta pontos foram selecionados e checados em campo através de registro fotográfico e georreferenciamento para auxiliar na fase de treinamento da classificação (FERREIRA *et al.*, 2009). A figura 53, apresenta uma imagem extraída de Ferreira *et al.* (2009) mostrando a localização do pontos de checagem a campo e alguns padrões típicos do intenso uso dado a terra na região estudada.

Para os propósitos deste trabalho, o mapeamento de uso das terras realizado por Ferreira *et al.* (2009), apesar da adequação da escala e nível de detalhamento, não cobriu a totalidade da área da bacia hidrográfica do Rio Verde. Para contornar esta situação foi feita uma complementação da área não coberta pelo referido mapeamento com os dados de uso do solo provenientes do projeto PROBIO (MMA, 2002). Entretanto, admitindo-se as incorreções cartográficas, cabe esclarecer que o procedimento adotado visou somente à complementação de uma pequena área, não superior a 8,5 % da área total da bacia hidrográfica em estudo, e, à extração de dados (áreas) com uma ordem de grandeza geral.

De qualquer forma, cabe registrar que, a pesar do Projeto PROBIO (MMA, 2002) ter trabalhado com o mesmo sensor e resolução espacial (Landsat ETM+; 30 m) do que o usado no Projeto Aduba Brasil (Embrapa) a diferença das escalas espaciais de publicação, 1:50.000 e 1:250.000, respectivamente, e a discordância dos anos-base imagiados para a realização da

classificação (2007 para o Aduba Brasil e 2002 para o PROBIO) introduziram, inevitavelmente, uma imprecisão no modelo de referência final utilizado neste trabalho.

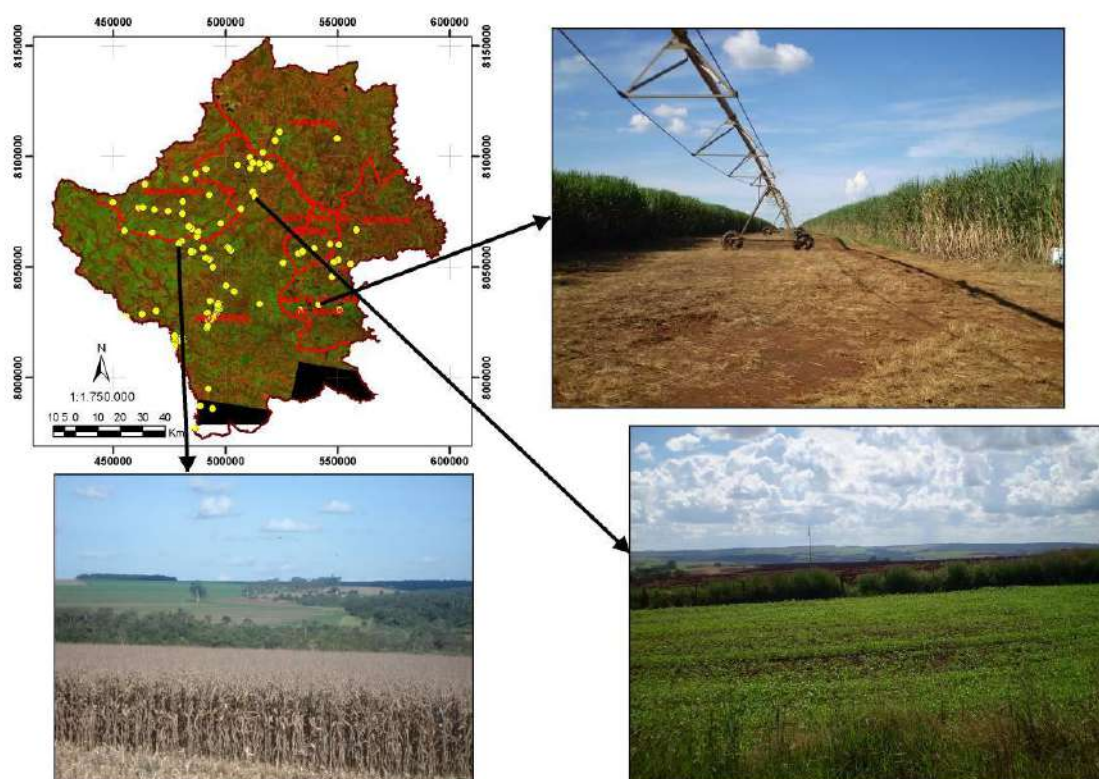


Figura 70 - Cartograma (A) mostrando a localização dos pontos verificados a campo e fotografias de alguns padrões de uso do solo encontrados: (B) Cultura da cana-de-açúcar; (C) Cultura de milho; (D) Cultura de soja. .

Nota: No cartograma (em preto) a área ao Sul da região estudada não coberta pelas imagens. Fonte: Imagem extraída de Ferreira *et al.*, 2009

Contudo, para efeito deste estudo de caso, enquanto exercício demonstrativo da aplicação do sistema de indicadores (SISHM-CANA), objetivo central desta tese, o modelo foi considerado satisfatório para o atendimento dos propósitos explicitados.

O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

- **Elaboração da carta - Uso e Cobertura do Solo da BH de Rio Verde (2006/2007):**
 Geração de uma carta de referência de Uso e Cobertura do Solo da BH de Rio Verde a partir da fusão do Mapeamento de Uso das Terras do Sudoeste Goiano (M1) (Embrapa) com os dados PROBIO (M2) (MMA 2002), por meio das seguintes operações de geoprocessamento: (i) Recorte dos mapas M1 e M2 com o *shape* da área da bacia hidrográfica de Rio Verde, através da função: *Analysis Tools/ Extract/Clip do ArcCatalog/ArcGIS10*; (ii) Extração da área correspondente ao M1 do M2, através da função: *Analysis Tools/ Extract/Erase do ArcCatalog/ArcGIS10*; (iii) Remontagem de

um base única através da função: *Analysis Tools/ Overlay /Union do ArcCatalog/ArcGIS10*; (iv) Interseção da carta Uso e Cobertura do Solo da BH de Rio Verde (2006/2007) remontada com o *shape* da BH do Rio Verde, através da função: *Analysis Tools/Overlay/Intersect do ArcCatalog/ArcGIS10*;

- **Extração dos dados:** Seleção e extração dos dados por subárea (seção) através da função *Select by attributes do ArcMap/ArcGIS10* e exportação das Figuras do *ArcMap/ArcGis10* em formato *xml* para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office*, para o posterior cálculo dos indicadores explicitados;
- **Cálculo dos Indicadores:** Efetivação dos cálculos dos indicadores IABH e IRVN, para a BH do Rio Verde e suas seções, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*.

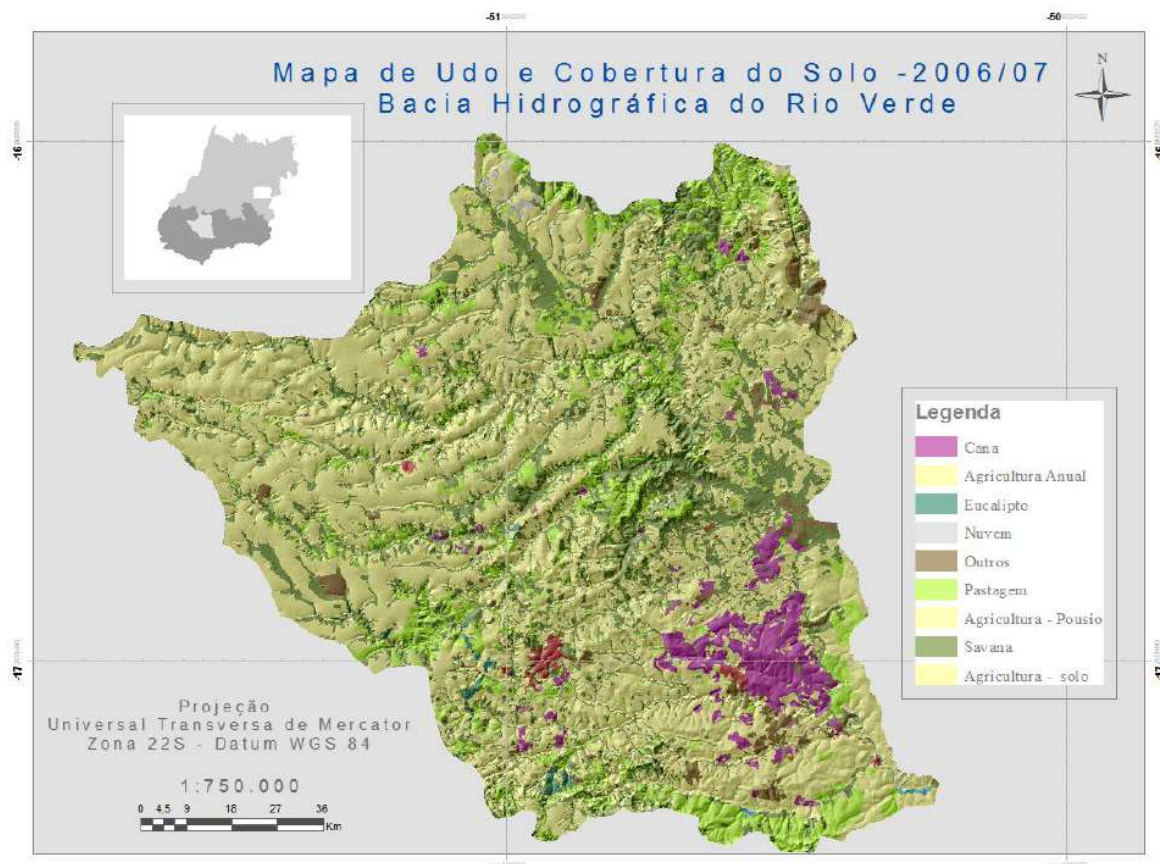


Figura 71 - Mapa de Uso e Cobertura do solo 2006/2007 para a Bacia do Rio Verde. Fonte: Adaptação de Ferreira et al. (2009), CANASAT/INPE e PROBIO (MMA, 2002)

9.4.3.2 Procedimento metodológico 2

❖ *Grupo 2 da Módulo 2A do SISH-CANA : Indicador do grau de exploração dos recursos hídricos.*

O 2º Grupo de Indicadores do Módulo 2A do SISH-Cana contém um índice que indica grau de exploração dos recursos hídricos. O quadro 37 apresenta o indicador com a respectiva fórmula matemática.

Quadro 37 - Grupo 2 da Módulo 2A do SISH-CANA: Indicador do grau de exploração dos recursos hídricos

INDICADOR	FÓRMULA
IRHT - Índice de Retirada Hídrica Total	$IRHT = Q_{\Sigma ret} - Q_{mlt}$

Nota: (i) $Q_{\Sigma ret}$ - Somatório das vazões das retiradas totais; (ii) Q_{mlt} - Vazão média de longo termo.

Os dados utilizados para o cálculo do indicador IRHT podem ser obtidos de diversas fontes dependendo da metodologia adotada para as estimativas a serem realizadas. No entanto, tratando-se de índices hidrológicos a fonte primária são as séries de dados fluviométricos de seções monitoradas e inventários de dados sobre o uso da água para a bacia hidrográfica de interesse. No presente estudo, foram utilizadas as séries históricas de dados fluviométricos das seguintes estações de monitoramento fluviométrico da ANA: (i) Maurítânia (ANA Cod:60798000); (ii) Ponte do Rio Verdão (ANA Cod:60790000); (iii) Ponte de Rodagem (ANA Cod:60781000).

O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

- **Aquisição dos dados:** (i) Obtenção das séries históricas de dados das estações fluviométricas coordenadas pela Agência Nacional de Águas - ANA do Ministério do Meio Ambiente. Os dados foram adquiridos por meio de solicitação direta junto a ANA e através de consulta e *download* das bases de dados disponibilizadas pela mesma agência através do Sistema de Informações Hidrológicas - *HidroWeb* (<http://hidroweb.ana.gov.br>); (ii) Aquisição dos dados de exploração (poços) retiradas e uso consuntivo da água da base de dados cadastrais da Superintendência de Irrigação da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás - SEMARH-GO (Requisição direta);
- **Tratamento dos dados:** (i) Análise de consistência e preenchimento das séries de dados pelo método de regressão linear simples; (ii) Cálculo as vazões médias de longo

termo (Q_{mlt} em $m^3 s^{-1}$) com o auxílio do programa computacional SisCAH 1.0; (iii) Como os dados da base de dados de uso da água da SEMARH- GO encontram-se distribuídos por município, porém georreferenciados, foi realizada uma operação de geoprocessamento para a seleção e extração dos dados referentes a BH do Rio Verde, a partir da interseção com o *shape* da BH do Rio Verde, através da função: *Analysis Tools/Overlay/Intersect do ArcCatalog/ArcGIS10*;

- **Extração dos dados:** Seleção e extração dos dados por seção da BH do Rio Verde através da função *Select by attributes do ArcMap/ArcGIS10* e exportação das Figuras do *ArcMap/ArcGis10* em formato *xml* para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office*, para o posterior cálculo do indicador explicitado
- **Cálculo dos Indicadores:** Efetivação dos cálculos do indicador IRHT, para a BH do Rio Verde e suas seções, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*.

9.4.3.3 Procedimento metodológico 3

❖ *Grupo 3 da Módulo 2A do SISH-CANA: Indicadores gerais de disponibilidade hídrica.*

O 3º Grupo de Indicadores do Módulo 2A do SISH-CANA contém três índices que indicam a disponibilidade hídrica dos mananciais de superfície e das reservas hídricas subterrâneas. O quadro 38 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 38 - Grupo 3 da Módulo 2A do SISH-CANA: Indicadores da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea

INDICADORES	FÓRMULAS
IDHA - Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável	$IDHA = [Q_{95} - (\Sigma Q_c + Q_{rem})] / Q_{95}$
ICRH - Índice de Capacidade de Regularização Hídrica	$ICRH = (Q_{mlt} - Q_{95}) / Q_{mlt}$
IDHE - Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável	$IDHE = Q_{RHE} - \Sigma Q_{exp} / Q_{RHE}$

Nota: (i) Q_{95} - Vazão de permanência a 95%; (ii) Q_{mlt} - Vazão média de longo termo; (iii) Q_{rem} - Vazão remanescente; (iv) ΣQ_c - Somatório das vazões de água consumida; (v) ΣQ_{exp} - Somatório das vazões de água explotada

Os dados utilizados para o cálculo dos indicadores IDHA, ICRH e IDHE podem ser obtidos de diversas fontes dependendo da metodologia adotada para as estimativas a serem realizadas. No entanto, tratando-se de índices hidrológicos a fonte primária são as séries de dados fluviométricos de seções monitoradas e inventários de dados sobre o uso da água para a

bacia hidrográfica de interesse. No presente estudo, foram utilizadas as séries históricas de dados fluviométricos das seguintes estações de monitoramento fluviométrico da ANA: (i) Maurítânia (ANA Cod: 60798000); (ii) Ponte do Rio Verdão (ANA Cod: 60790000); (iii) Ponte de Rodagem (ANA Cod: 60781000).

O procedimento metodológico adotado seguiu as seguintes etapas:

- **Aquisição dos dados:** (i) Obtenção das séries históricas de dados das estações fluviométricas coordenadas pela Agência Nacional de Águas - ANA do Ministério do Meio Ambiente. Os dados foram adquiridos por meio de solicitação direta junto a ANA e através de consulta e *download* das bases de dados disponibilizadas pela mesma agência através do Sistema de Informações Hidrológicas - *HidroWeb* (<http://hidroweb.ana.gov.br>); (ii) Aquisição dos dados de exploração (poços) retiradas e uso consuntivo da água da base de dados cadastrais da Superintendência de Irrigação da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás - SEMARH-GO (Requisição direta);
- **Tratamento dos dados:** (i) Análise de consistência e preenchimento das séries de dados pelo método de regressão linear simples; (ii) Cálculo as vazões médias de longo termo (Q_{mlt} em $m^3 s^{-1}$); das vazões de permanência de 95% (Q_{95} em $m^3 s^{-1}$) com o auxílio do programa computacional *SisCAH 1.0*; (iii) determinação da vazão remanescente por meio da adoção de critério ($Q_{rem} = \frac{1}{2} Q_{95}$) (iv) Para a estimativa das vazões totais de retirada, consumo e exploração (ΣQ_{ret} , ΣQ_c e ΣQ_{exp} em $m^3 s^{-1}$), como os dados da base de dados de uso da água da SEMARH- GO encontram-se distribuídos por município, porém georreferenciados, foi realizada uma operação de geoprocessamento para a seleção e extração dos dados referentes a BH do Rio Verde, a partir da interseção com o *shape* da BH do Rio Verde, através da função: *Analysis Tools/Overlay/Intersect do ArcCatalog/ArcGIS10*;
- **Extração dos dados:** Seleção e extração dos dados por seção da BH do Rio Verde através da função *Select by attributes do ArcMap/ArcGIS10* e exportação das Figuras do *ArcMap/ArcGis10* em formato *xml* para o formato *xlsx* do *Excel/Microsoft office*, para o posterior cálculo do indicador explicitado
- **Cálculo dos Indicadores:** Efetivação dos cálculos do indicador IRHT, para a BH do Rio Verde e suas seções, por meio de planilhas do programa *Excel/Microsoft office*.

9.4.3.4 Procedimento metodológico 4

❖ **Grupo 4 da Módulo 2A do SISH-Cana : Indicador da vulnerabilidade à qualitativa dos recursos hídricos.**

Os procedimentos metodológicos para a determinação do indicador IVCH encontram-se descritos no item 8.5.1.3.3.

Observa-se, apenas que a base de referência Vulnerabilidade das Terras foi recortada com o *shape* da bacia do Rio Verde, através da função: *Analysis Tools/ Extract/Clip* do *ArcCatalog/ArcGIS10*).

❖ **Grupo 5 da Módulo 2A do SISH-Cana : Indicador da Susceptibilidade da Bacia à Alteração Hidrossedimentológica .**

O 5º Grupo de Indicadores do Módulo 2A do SISH-CANA contem apenas um índice que indica de modo indireto, por uma relação de área limite de expansão, a susceptibilidade da bacia hidrográfica quanto à possível alteração hidrossedimentológica relacionado à expansão potencial da atividade canavieira. O quadro 39 apresenta o indicador com a respectiva fórmula matemática.

Quadro 39 - Grupo 5 da Módulo 2A do SISH-CANA: Indicador da Susceptibilidade da Bacia à Alteração Hidrossedimentológica.

INDICADORES	FÓRMULAS
IALE - Índice de Área Limite de Expansão Sustentável	$IALE = S_{LE}/S_{UTA}$

Nota: (i) SLES = Área Limite de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira; (ii) SUTA = Área da Unidade Territorial de Análise (UTA).

Para a determinação do indicador IALE se faz necessário desenvolver um método (modelagem hidrológica) para a estimativa da *área limite de expansão sustentável* conforme definida no item 7.1.3.2. Cumpre ressaltar que no presente estudo de caso o indicador foi aplicado apenas como exemplo não tendo sido proposto um modelo que pudesse gerar com suficiente rigor a estimativa da área limite acima mencionada.

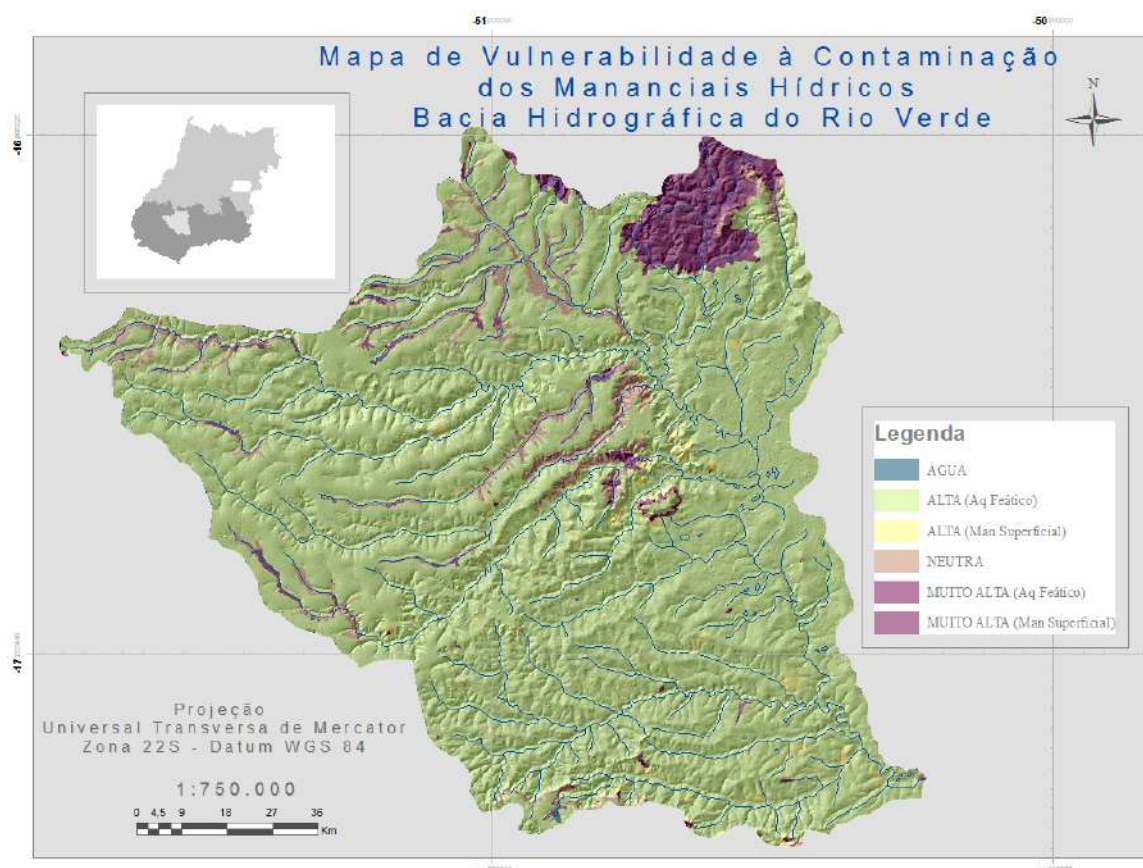


Figura 72 - Mapa de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos para a Bacia do Rio Verde. . Fonte: Adaptado de Barbalho e Campos (2010)

9.4.3.5 Procedimento metodológico 5

❖ *Parte 2 - Módulo B do SISH-Cana : Indicadores do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira na UTAs.*

O Módulo B da Parte 2 do SISH-CANA apresenta dois Blocos de indicadores para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira. Conceitualmente, os indicadores são idênticos, porém o Bloco 1 reúne os indicadores orientados para a atividade canavieira conduzida em sistema de irrigação compulsória e o Bloco 2 para a atividade canavieira em sistema de sequeiro.

❖ *Grupo 1 do Módulo 2B do SISH-CANA: Indicadores da favorabilidade edafoclimática da UTAs para a cultura canavieira.*

O 1º Grupo de Indicadores do Módulo 2B do SISH-CANA contém dois índices em cada Bloco que indicam, em termos relativos de área, a favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira em uma dada UTA. O primeiro relaciona a favorabilidade total e o segundo a favorabilidade particularizada para cada sistema de produção (sequeiro ou irrigação compulsória). O quadro 40 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 40 - Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira.

INDICADORES	FÓRMULAS
IFGC - Índice de Favorabilidade Geral para a Cultura Canavieira	$IFGC = S_{FG}/S_{UTA}$
IFIC - Índice de Favorabilidade para a Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória	$IFSI = S_{IC}/S_{UTA}$
IFSS - Índice de Favorabilidade para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro	$IFSS = S_{FS}/S_{UTA}$

Nota: (i) S_{UTA} = Área Total da Unidade Territorial de Análise (ha); (ii) S_{FT} = Área Total Favorável à Cultura Canavieira (ha); (iii) S_{FS} = Área Total Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (ha); (iv) S_{IC} = Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira (ha).

Os procedimentos metodológicos para a obtenção dos dados e cálculo dos indicadores supracitados já foram descritos no item 8.5.1.3.1

Observa-se, apenas que a base de referência ZAE-Cana (Embrapa, 2009) foi recortada com o *shape* da bacia do Rio Verde, através da função: *Analysis Tools/ Extract/Clip* do *ArcCatalog/ArcGIS10*.

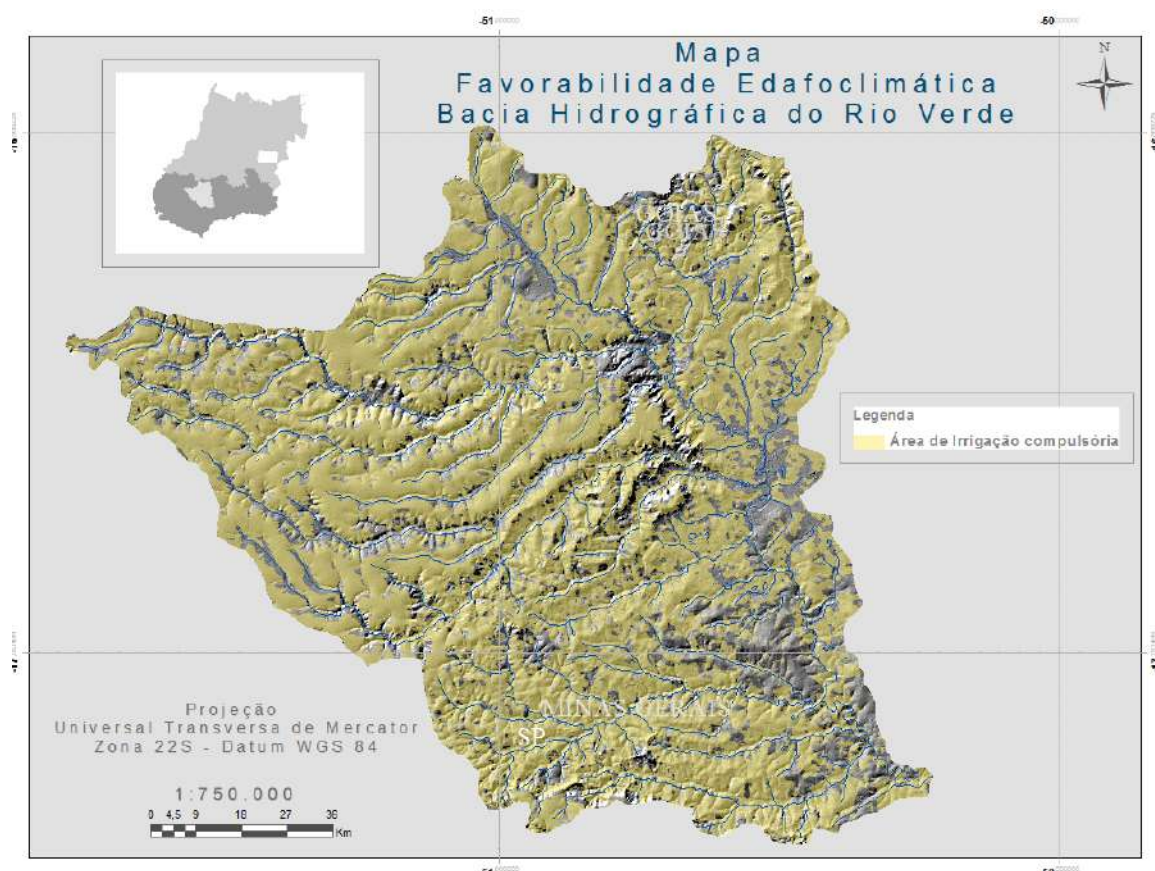


Figura 73 - Mapa de Favorabilidade Edafoclimática para a Bacia do Rio Verde. Fonte: Adaptado do ZAE-CANA/Embrapa (2009)

9.4.3.6 Procedimento metodológico 6

❖ *Grupo 2 do Módulo 2B do SISH-CANA: Indicadores de disponibilidade hídrica para a atividade canavieira em sistema de sequeiro e de irrigação compulsória.*

O 2º Grupo de Indicadores do Módulo 2B do SISH-Cana contém seis índices em cada bloco que indicam o grau de comprometimento da disponibilidade hídrica e o de atendimento da demanda hídrica potencial da atividade canavieira em relação à disponibilidade hídrica estimada para cada compartimento: (i) Disponibilidade hídrica alocável, (ii) Disponibilidade hídrica regularizável, (iii) Disponibilidade hídrica explotável. O quadro 41 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 41 - Grupo 2 da Módulo 2B do SISH-Cana (Blocos 1 e 2): Indicadores de disponibilidade hídrica para a atividade canavieira em sistema de sequeiro e de irrigação compulsória.

INDICADORES	FÓRMULAS
ICDH _{A(s;i)} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Alocável	ICDH _{A(s;i)} = DeH _i / DiH _A → DIH _A = Q95-(Σvc+Qrem)
IADH _{A(s;i)} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica - Alocável	IADH _{A(s;i)} = S _{MEai} /S _{IC}
ICDH _{R(s;i)} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Regularizável	ICDH _{R(s;i)} = DEHi/ DIHr → DIHR = (Qmlt-Q95) -Σvc
IADH _{R(s;i)} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica - regularizável	IADH _{R(s;i)} = S _{MEri} /S _{IC}
ICDH _{E(s;i)} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Explotável	ICDH _{E(s;i)} = DEHi/ DIHe → DIHe = RHR-Σve
IADH _{E(s;i)} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica- Explotável	IADH _{E(s;i)} = S _{MEei} /S _{IC}

Nota: (i) DeH - Demanda hídrica da atividade canavieira; (ii) DiH - Disponibilidade hídrica (iii) Q₉₅ - Vazão de permanência a 95%; (iv) Qmlt - Vazão média de longo termo; (v) Qrem - Vazão remanescente; (vi) ΣQc - Somatório das vazões de água consumida; (vii) ΣQexp - Somatório das vazões de água explotada; (viii). Sme - Área máxima de expansão sustentada, (ix) RHR - Reserva hídrica explotável; (x) Sic - Área de irrigação compulsoria.

9.4.3.7 Procedimento metodológico 7

- ❖ **Parte 2 - Módulo C do SISH-Cana : Indicadores do Processo de Expansão da Cultura Canavieira nas UTAs.**
- ❖ **Grupo 1 do Módulo 2C do SISH-Cana : Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira.**

O 1º Grupo de Indicadores do Módulo 2C do SISH-Cana contem dois índices de área que estabelecem a intensidade relativa do processo de expansão da cultura canavieira referente a determinado período e a proporção de ocupação momentânea desta, ambos, em relação à área total da UTA. O quadro 42 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Os procedimentos metodológicos e as considerações a respeito da extração dos dados do Projeto CANASAT/INPE para cálculo dos indicadores supracitados já foram descritos no Ítem 8.5.1.3.4. Para o presente estudo de caso, no entanto, o período considerado foi o ano-safra 2006/2007 à 2010/2011 e a área considerada foi a bacia hidrográfica do Rio Verde.

Quadro 42 - Grupo 1 da Módulo 2C do SISH-CANA: Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira.

INDICADORES	FÓRMULAS
IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canavieira	$IOCC = S_{AC}/S_{UTA}$
IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira	$IECC = (S_{AC} - S_{PC})/ S_{UTA}$

Nota: (i) S_{UTA} = Área total da unidade territorial de análise; (ii) S_{AC} = Área atual de ocupação da cultura canavieira ; (iii) S_{PC} = Área precedente de ocupação da cultura canavieira.

9.4.3.8 Procedimento metodológico 8

❖ *Grupo 2 do Módulo 2C do SISH-Cana: Indicadores de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa.*

O 2º Grupo de Indicadores do Módulo 2C do SISH-Cana contem dois índices que estabelecem as proporções das áreas ocupadas com atividades agrícolas ou com pastagens que foram substituídas pela cultura canavieira. Contem ainda mais um indicador que sinaliza a proporção de supressão de áreas com vegetação nativa em decorrência da expansão da cultura da cana-de-açúcar. O quadro 43 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 43 - Grupo 2 da Módulo 2C do SISH-CANA: Indicadores de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa.

INDICADORES	FÓRMULAS
ISAA - Índice de Substituição de Áreas Agrícolas	$ISAA = (S_{SAC} - S_{SCA}) / (S_{EC} + S_{RC})$ $ISAA^* = S_{SAC} / S_{EC}$
ISAP - Índice de Substituição de Áreas com Pastagens	$ISAP = (S_{SPC} - S_{SCP}) / (S_{EC} + S_{RC})$ $ISAP^* = S_{SPC} / S_{EC}$
ISVN - Índice de Supressão de Vegetação Nativa	$ISVN = S_{SV} / S_{EC}$

Nota: (i) S_{EC} = Área de expansão da cultura canavieira; (ii) S_{RC} = Área de retração da cultura canavieira; (iii) S_{SAC} = Área de substituição de culturas agrícolas pela cultura canavieira; (iv) S_{SCA} = Área de substituição da cultura canavieira pelas culturas agrícolas; (v) S_{SPC} = Área de substituição de pastagens pela cultura canavieira; (vi) S_{SCP} = Área de substituição da cultura canavieira pelas pastagens; (vii) S_{SV} = Área de supressão da vegetação nativa

Os procedimentos metodológicos e as considerações a respeito da extração dos dados para cálculo dos indicadores supracitados foram os mesmos adotados para o Estudo de Caso dos *Hotspots* de Expansão Canavieira na Mesorregião Sul do Estado de Goiás (Nível

Estratégico), descritos no Ítem 8.5.1.3.5. Para o presente estudo de caso, no entanto, a fonte dos dados foi a base cartográfica temática adaptada do Mapeamento de Ocupação das Terras do Projeto Aduba Brasil (EMBRAPA, 2007) e FERREIRA *et al.* (2009) e os dados CANSAT/INPE do período compreendido entre os anos-safra 2006/2007 à 2010/2011. O período considerado foi o anteriormente citado e a área considerada foi a bacia hidrográfica do Rio Verde.

9.4.3.9 Procedimento metodológico 9

❖ *Grupo 3 do Módulo 2C do SISH-CANA: Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.*

O 3º Grupo de Indicadores do Módulo 2C do SISH-Cana contém dois índices que estabelecem a proporção da área momentaneamente ocupada com a cultura da cana-de-açúcar e as áreas definidas como sendo de: (i) *Área máxima de expansão sustentada*; (ii) *Área limite de expansão sustentável*. O quadro 44 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Quadro 44 - Grupo 3 da Módulo 2C do SISH-CANA: Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira.

INDICADORES	FÓRMULAS
IESC _(S;I) - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira	$IESC_{(S;I)} = S_{OC}/S_{MES}$
IESU - Índice de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira	$IESU = S_{OC}/S_{LES}$

Nota: (i) S_{AC} = Área atual da cultura canavieira; (ii) S_{MES} = Área máxima de expansão sustentada; (iii) S_{LES} = Área limite de expansão sustentável. Os subscritos “S” e “I” significam, respectivamente, sistema de sequeiro e de irrigação compulsória.

Os procedimentos metodológicos para o cálculo dos indicadores IESC(S;I), aplicados para o Estudo de Caso BH do Rio Verde foram similares aos descritos no Ítem 8.5.1.3.6 Sendo assim, a área atual de ocupação da cultura canavieira foi igualmente extraída dos dados do Projeto CANASAT/INPE. Porém, para a determinação da Área Máxima de Expansão Sustentada (SMES), foram utilizados os dados hidrológicos extraídos das séries de dados fluviométricos conforme descrito no Ítem 8.5.1.3.2 deste capítulo, assim como, as estimativas das demandas hídricas da atividade canavieira, em sistema de sequeiro ou de irrigação compulsória.

Para o caso da determinação do indicador IESU, a *Área Limite de Expansão Sustentável* (S_{LES}), teoricamente definida conforme as considerações descritas no Ítem 7.1.9.2, foi utilizado um valor de referência hipotético apenas para cumprir o exercício demonstrativo da aplicação do SISH-CANA, objetivo basilar deste estudo de caso.

Observa-se que, alternativamente, pode-se também incluir, em substituição a um dos indicadores $IAMS_{(S,I)}$, o *Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira* (IEAC), conforme proposto para a Parte 1 Módulo B do SISH-Cana . Como visto anteriormente, o referido indicador é aplicado para a avaliação ou para o monitoramento da expansão canavieira, indicando a proporção da área de expansão canavieira ocorrida sobre áreas consideradas adequadas, com base na aptidão edáfica e nas condições topográficas. Como na bacia do Rio Verde não ocorrem áreas favoráveis para a expansão canavieira em sistema de sequeiro, no estudo de caso ora em questão, foi adotado este procedimento. Os procedimentos de obtenção e extração dos dados para o cálculo deste indicador foi devidamente descrito no Ítem 8.5.1.3.6 . As fontes de dados utilizadas também foram as mesmas. Ou seja, foi utilizado o Zoneamento Agroecológico da Cultura da Cana-de-açúcar - ZAE-Cana (Embrapa, 2009) como base de referência para definição das áreas consideradas adequadas (aptidão edáfica e declividade não superior a 12%), e, os dados CANSAT/INPE para a estimativa das áreas de expansão canavieira no período compreendido entre os anos-safra 2006/2007 à 2010/2011. A bacia hidrográfica do Rio Verde constitui a área considerada.

9.4.4 Apresentação e discussão dos resultados do estudo de caso da BH do Rio Verde - GO

Com o objetivo de demonstrar a aplicabilidade do Sistema de Indicadores para Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica e Monitoramento da Atividade Canavieira (SISHM-Cana), orientado ao nível tático de planejamento ou gestão setorial, o presente item apresenta os resultados do Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Verde, situada no Estado de Goiás.

9.4.4.1 Análise do potencial de desenvolvimento sustentável da BH do Rio Verde - GO para a atividade canavieira.

A figura 54 apresenta o gráfico com os resultados sobre a situação de antropização da bacia hidrográfica do Rio Verde analisada a partir das três seções fluviométricas explicitadas.

Os valores das áreas classificadas pelos tipos de ocupação e uso da terra e os indicadores IABH e IRVN demonstram tratar-se de uma bacia com alto grau de antropização com um padrão, predominantemente, rural nas três seções apreciadas a pesar de abrigar núcleos urbanos e a sede municipal e de importantes municípios como Rio Verde, Santa Helena de Goiás, São João da Barra. Neste sentido, a bacia subdividida em suas três seções, que representam os trechos do baixo, alto e médio curso do Rio Verde, se apresenta bastante homogênea, ostentando por volta de 75% da sua área territorial antropizada, e, os 25% restantes ainda ocupados com formações vegetacionais remanescentes. Na área rural, perfazendo aproximadamente 63% da bacia, mais de 850 mil hectares são utilizados com agricultura em nível intenso, notadamente, culturas anuais de grãos. As áreas de pecuária com pastagem formada ocupam hoje em torno de 12% da área total, ficando os núcleos urbanos com um pouco mais de 4,5%. Observando, separadamente, as seções predeterminadas, verifica-se uma variação de no máximo três pontos percentuais em torno dos valores mencionados.

Desta forma, os indicadores *Índices de Antropização*, que se baseiam na área ponderada das classes de uso e ocupação do solo conforme a intensidade relativa de transformação da paisagem, revelam esta tendência variando em torno de 0,43. Por outro lado, os percentuais de vegetação remanescente revelados pelo indicador IRVN não é tão baixo comparado a outras bacias de perfil rural, neste particular, mais degradadas.

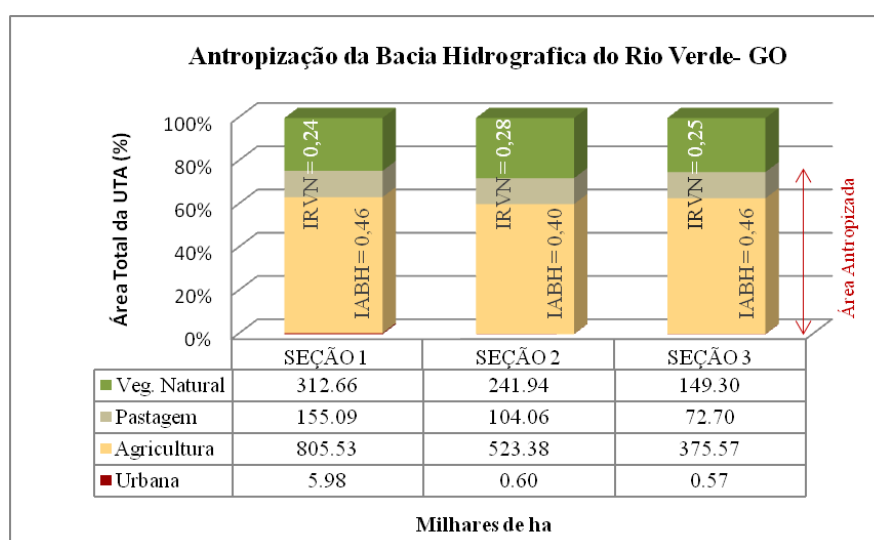


Figura 74 - Gráfico: Antropização da Bacia Hidrográfica do Rio Verde – GO.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Mauritânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 3 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: autoexplicativa. **Rótulos (Indicadores):** (i) IABH – Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica; (ii) IRVN – Índice de Remanescente de Vegetação Natural.

Para completar a análise da intensidade relativa de uso e apropriação dos recursos naturais na bacia hidrográfica do Rio Verde, situada em Goiás, apesar da grande intensidade de uso do solo, os indicadores *Índices de Retirada Hídrica Total*, apresentados os gráficos da figura 55, revelam um nível baixo de utilização dos recursos hídricos relativo à oferta total, indicando de modo geral uma pressão do ponto de vista quantitativo relativamente pequena. Esses valores, no entanto, devem ser considerados com cuidado, visto que, talvez a determinação dos volumes totais das retiradas hídricas possa ter sido subestimada, devido à incompletude e/ou desatualização da base de dados, conforme explicitado anteriormente. Contudo, a tendência de que as retiradas hídricas totais estão ainda muito aquém dos volumes hídricos produzidos, com base na vazão média de longo período registrada na bacia, seria provavelmente mantida. A figura 55 apresenta os gráficos com os volumes absolutos e proporcionais das retiradas hídricas em relação à oferta hídrica da bacia e os respectivos indicadores que revelam esta relação de modo direto.

Para a avaliação do potencial da bacia do Rio Verde para o desenvolvimento da atividade canavieira os três indicadores: *Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável*, *Índice de Capacidade de Reserva Hídrica* e o *Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável*, analisam de modo compartimentado a situação de disponibilidade hídrica geral da bacia a partir do saldo relativo do balanço entre a oferta hídrica de cada compartimento e a demanda já instalada, relativa ao somatório do uso consuntivo da água na bacia

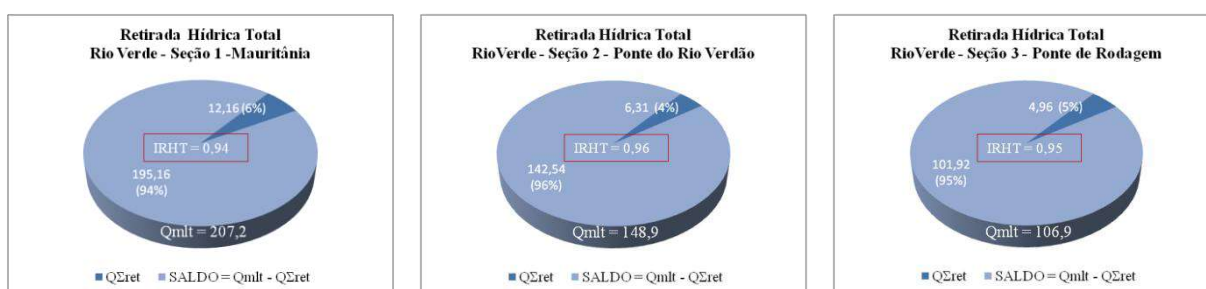


Figura 75 - Gráficos: Retirada Hídrica Total e indicador IRHT - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Mauritânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 3 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) Q_{Σret} - Somatório das vazões de retiradas totais; (ii) Saldo - Diferença entre a vazão média de longo termo e o Somatório das vazões de retiradas DHE - Disponibilidade hídrica explotável; (iii) Q_{mlt} - Vazão média de longo termo. Rótulos (Indicadores): (i) IRHT - Índice de Retirada Hídrica Total.

. A figura 56 apresenta os *Índices de Disponibilidade Hídrica Alocável*, assim como, as grandezas físicas que os definem. Os índices IDHAs se revelaram muito próximos nas três seções estudadas, contudo, registram uma ligeira tendência de aumento na direção jusante/

montante da bacia em apreciação. Revelam ainda que, descontados os volumes alocados para o uso já instalado e as vazões remanescentes a disponibilidade hídrica alocável atual gira em torno de 46,5% nas três seções em análise.

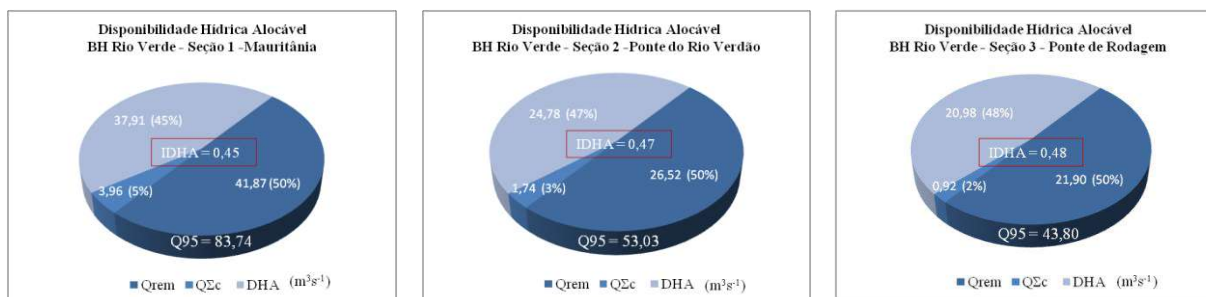


Figura 76 - Gráficos: Disponibilidade Hídrica Alocável e indicador IDHA - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Mauritània; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 3 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) Qrem - Vazão remanescente (corresponde à vazão de deve ser deixada no rio para a manutenção de um nível mínimo); (ii) QΣc - Somatório das vazões totais consumidas; (iii) DHA - Disponibilidade hídrica alocável; (iv) Q95 - Vazão com 95% de permanência (corresponde à oferta hídrica alocável total). Rótulos (Indicadores): (i) IDHA – Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável.

Em relação ao potencial da bacia em produzir, nas estações de cheia, volumes excedentes de água que determinam a capacidade de reserva ou regularização hídrica, nota-se que a bacia do Rio Verde apresenta um bom potencial, neste particular, revelado pela aplicação do indicador *Índice de Capacidade de Reserva Hídrica*. Vale dizer que a Bacia do Rio Verde apresenta, considerando o afastamento entre a vazão média de longo termo e a vazão com 95% de permanência considerável margem para regularização das vazões a fim de gerar reserva hídrica por acumulação prévia de água para os devidos e múltiplos fins. Assim sendo, os valores dos índices ICRHs demonstraram, para as três seções estudadas, bastante uniformidade, registrando apenas um valor um pouco mais expressivo para porção média da bacia em apreço. Através dos gráficos da figura 57, os indicadores, assim como, as vazões características absolutas e relativas referentes às respectivas seções fluviométricas podem ser apreciados.

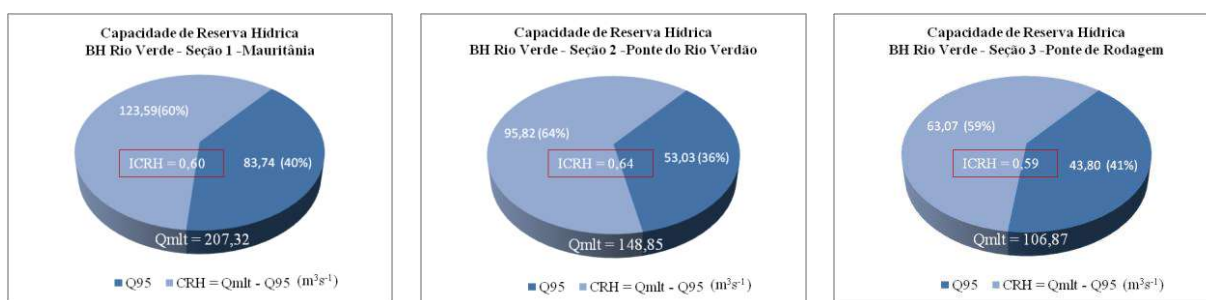


Figura 77 - Gráficos: Capacidade de Reserva Hídrica e indicador ICRH - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Mauritânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 3 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) Q95 - Vazão com 95% de permanência (corresponde à oferta hídrica alocável total); (ii) CRH - Capacidade de reserva hídrica; (iii) Qmlt – Vazão média de longo termo. **Rótulos** (Indicadores): (i) ICRH - Índice de Capacidade de Reserva Hídrica.

Por fim, a disponibilidade hídrica referente às reservas subterrâneas renováveis, neste trabalho, designada como *disponibilidade explotável* ainda apresenta, para as três seções apreciadas, um enorme margem percentual disponível para os diversos tipos de uso de água consuntivo, dentre eles a irrigação de culturas agrícolas. Os percentuais explotados até o momento na bacia variam em torno de 1 a 3% de montante a jusante. Faz-se uma ressalva, no entanto, a respeito da atualização da base de dados utilizada e a possível ausência de registro de poços, ou mesmo, à clandestinidade de muitos deles. De qualquer forma, os indicadores apontam para uma situação de baixa exploração dos aquíferos reguladores na bacia hidrográfica do Rio Verde, a despeito da intensiva atividade agropecuária e integração industrial que a mesma apresenta. A figura 58 apresenta os resultados dos indicadores e das vazões explotadas em relação às vazões explotáveis de cada seção fluviométrica em escrutínio.

A situação de vulnerabilidade das terras da bacia do Rio Verde quanto à contaminação dos mananciais hídricos por causa dos efluentes da indústria sucroalcooleira, notadamente, a utilização de vinhaça como insumo básico da prática da fertirrigação, pode ser apreciada com o auxílio do gráfico da figura 79.

O estabelecimento da área limite, referente à área da bacia hidrográfica, para o cultivo da cultura canavieira sem, contudo, causar alterações nas condições de escoamento que venham a comprometer a estabilidade do regime hidrológico, logo de produção de água da bacia, seria de grande valia para o estabelecimento de um critério crucial de planejamento territorial no tocante à gestão dos recursos hídricos com vistas ao seu ordenamento e uso judicioso.

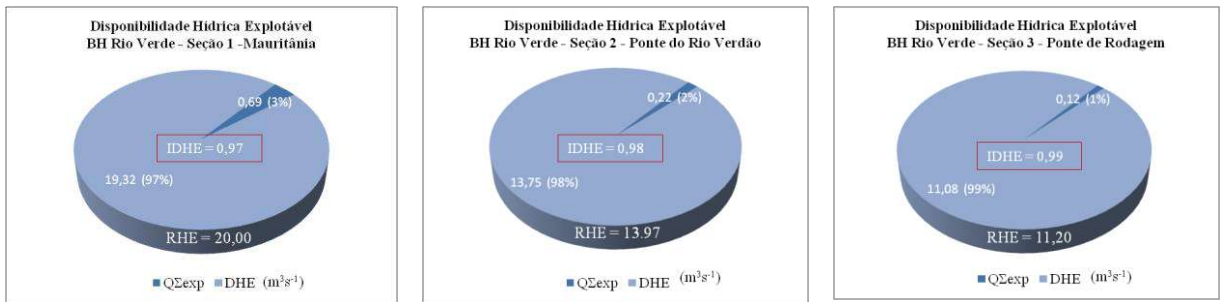


Figura 78 - Gráficos: Disponibilidade Hídrica Explotável e indicador IDHE - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Mauritània; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) QΣexp - Somatório das vazões totais explotadas; (ii) DHE - Disponibilidade hídrica explotável; (iii) RHE - Vazão da reserva hídrica explotável. **Rótulos** (Indicadores): (i) IDHE – Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável.

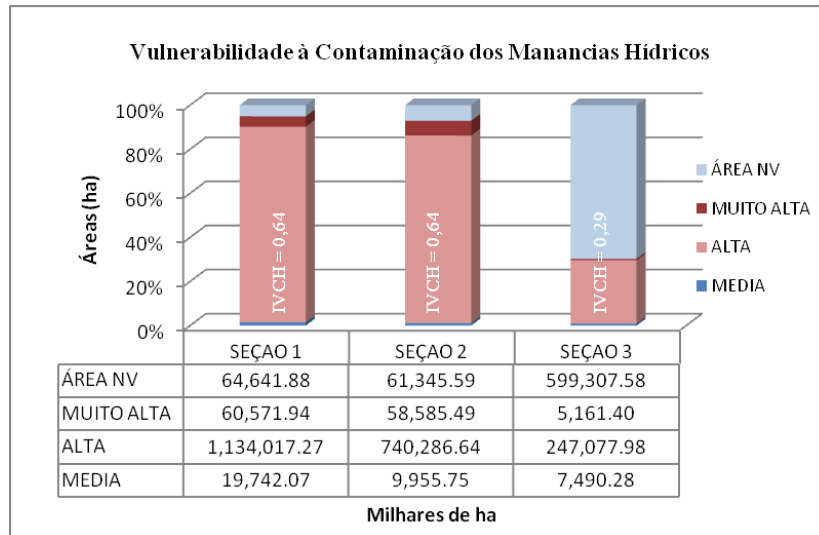


Figura 79 - Gráfico: Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos

A figura 80 apresenta os valores das áreas e índices IALE concebidos para este propósito. Cabe, mais uma vez, mencionar o caráter hipotético dos valores explicitados, apresentados apenas a guisa de demonstração da aplicação do indicador em proposição.

Com base nos valores sugeridos o aproveitamento da expressiva área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira na bacia do Rio Verde seria, consideravelmente, restringido, visto que, a área limite para a expansão sustentável se situa em torno de 20%, enquanto, a área favorável para o cultivo da cultura canavieira ultrapassa os 70% da área total da bacia em questão. Para as seções 2 e 3 os valores do índice aumenta (0,23) e diminui (0,16) respectivamente.

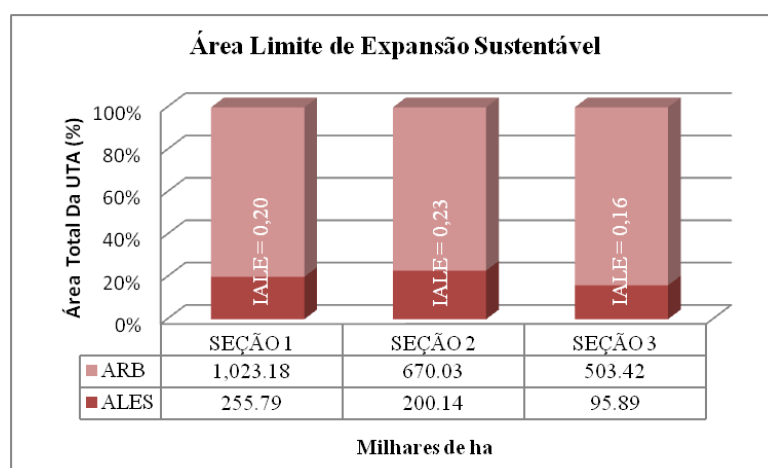


Figura 80 - Gráfico: Área limite de expansão sustentável e indicador IALE - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Mauritânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 3 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) ALES – Área Limite de expansão sustentável para a cultura canavieira; (ii) ARB - Área restante da UTA (bacia). **Rótulos (Indicadores):** (i) $IAFC_1$ – Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória.

9.4.4.2 Análise do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira em sistema de irrigação e sequeiro na BH do Rio Verde - GO.

Considerando que a bacia hidrográfica do Rio Verde não possui favorabilidade climática para o cultivo da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro, a avaliação que se segue será restrita às áreas da bacia onde a cultura pode ser conduzida em sistema de irrigação suplementar. Os indicadores e a área favorável para a cultura canavieira em sistema de irrigação suplementar, ou seja, a área de irrigação compulsória, encontram-se apresentados nos gráficos da figura 81.

Observando-se as áreas favoráveis à cultura canavieira em sistema de irrigação em termos absolutos e as proporções reveladas pelos índices $IAFC_1$, percebe-se a grande extensão de área com solos aptos e topografia adequada para a cultura da cana-de-açúcar encontrada na bacia do Rio Verde. Para todas as seções estudadas mais de 70% de suas áreas apresentam-se adequados para o cultivo da cultura canavieira com irrigação suplementar, devido ao relevo suavizado com associação de solos profundos, bem drenados, notadamente os da classe Latossolo que dominam a paisagem na bacia.

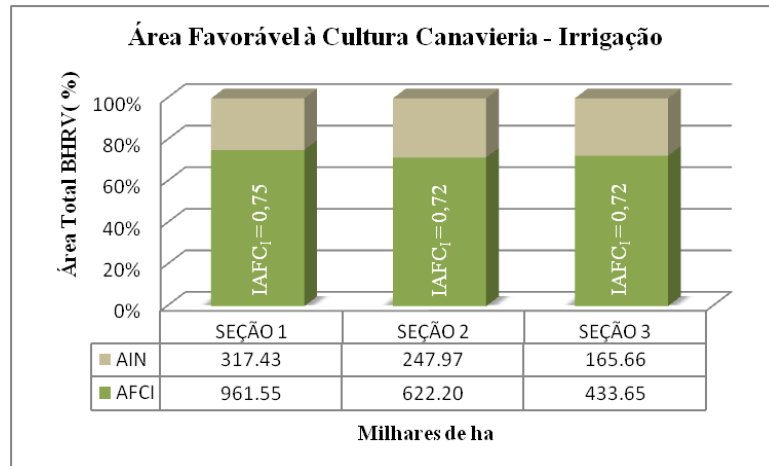


Figura 81 - Gráfico: Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória e indicador $IAFC_I$ - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Maurítânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) AIN – Área inadequada para a cultura canavieira; (ii) AFCI – Área favorável à cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória. Rótulos (Indicadores): (i) $IAFC_I$ – Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória.

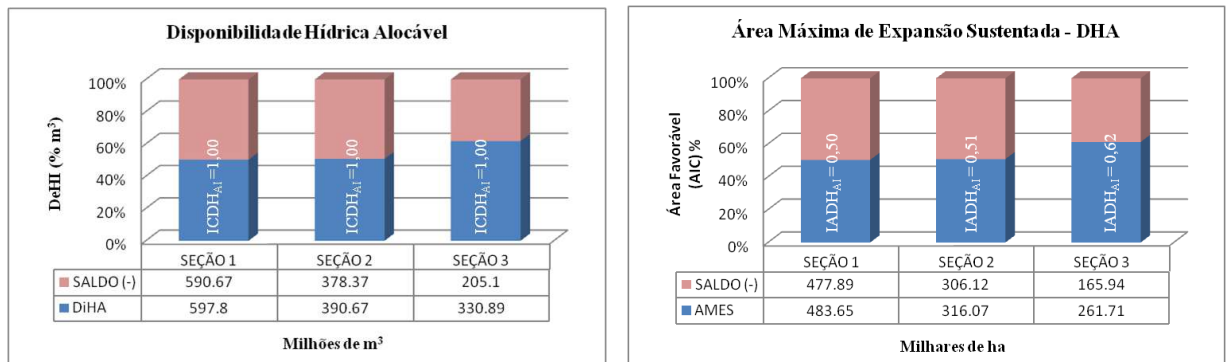


Figura 82 - Gráficos: Comprometimento da disponibilidade hídrica alocável e indicador $ICDH_{AI}$, e, atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira em sistema de irrigação e indicador $IADH_{AI}$ - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Maurítânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) DiHA - Disponibilidade hídrica alocável; (ii) SALDO (-) - Saldo negativo (Gráfico A: corresponde o volume hídrico que falta para atender a demanda - Gráfico B : corresponde a área favorável não contemplada com os recursos hídricos para ser cultivada); (iii) AMES - Área máxima de expansão sustentada. Rótulos (Indicadores): (i) $ICDH_{AI}$ – Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Alocável – Sistema de Irrigação; (ii) Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória – Disponibilidade Alocável.

Uma vez constatada a favorabilidade da bacia no que tange a ocorrência de áreas adequadas para o cultivo da cana-de-açúcar, a avaliação concentra-se na análise do

comprometimento da disponibilidade hídrica e grau de atendimento à demanda potencial exigida pela atividade sucroalcooleira (figura 82). Assim, os indicadores ICDH e IADH são pareados e complementares, pois, se o primeiro indicar uma situação de comprometimento total o segundo revela o quanto será possível atender em termos de expansão de área de cultivo, transmitindo a noção do grau de limitação da disponibilidade hídrica face à demanda projetada. Em contrapartida, no caso de atendimento pleno o comprometimento da disponibilidade hídrica é parcial ou atinge o limite exato da exaustão. Deste modo, a seguir serão apresentados os indicadores ICDH e IADH pareados para cada diferente compartimento de disponibilidade hídrica: disponibilidade alocável, explorável e regularizável, cujos conceitos já foram explicitados anteriormente.

Analisando a disponibilidade hídrica alocável e o quanto desta seria necessário dispor ou comprometer para atender os volumes de água requeridos para a irrigação e os exigidos para o processamento da produção, nota-se a insuficiência desse recurso face a grande magnitude da demanda posta pela atividade canavieira em expansão máxima adequada. Assim, os índices de atendimento registram os valores de 0,53, 0,57 e 0,66, respectivamente, para as seções 1, 2 e 3, revelando certa tendência de diminuição da limitação da disponibilidade hídrica alocável no sentido jusante/montante da bacia. Em termos práticos, os volumes disponíveis por alocação de água direta do canal fluvial atenderiam, aproximadamente, apenas à metade da área capaz de ser cultivada considerando a aptidão edafoclimática.

Quanto se observa a situação em relação aos volumes hídricos disponíveis por exploração direta dos aquíferos livres ou freáticos, que constituem a reserva hídrica subterrânea reguladora da bacia, a situação é similar a anterior, visto que, a demanda projetada supera a oferta hídrica líquida após o devido desconto das explorações já efetivadas, outorgadas ou não. O comprometimento dos volumes hídricos referentes à reserva explorável é total para atender um pouco mais da metade da área potencial para o cultivo da cultura da cana. Os valores dos índices de atendimento relacionados à disponibilidade explorável revelam uma situação ligeiramente mais favorável do que a disponibilidade alocável, mantendo a mesma tendência de diminuição da limitação no sentido de baixo ao alto curso do Rio Verde e sua bacia (figura 83).

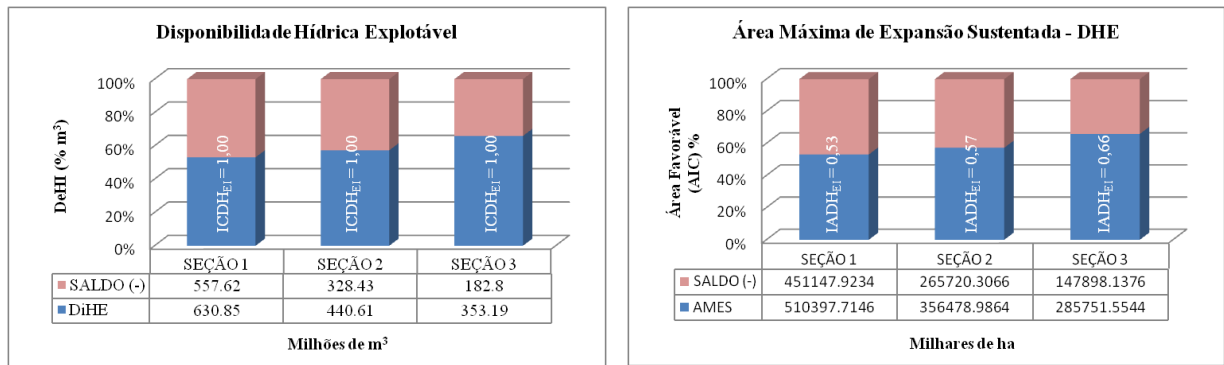


Figura 83 - Gráficos: Comprometimento da disponibilidade hídrica explotável e indicador $ICDH_{EI}$, e, atendimento da demanda hídrica da atividade canvieira em sistema de irrigação e indicador $IADH_{EI}$ - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Mauritânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) DiHE - Disponibilidade hídrica explotável; (ii) SALDO (-) - Saldo negativo (Gráfico A: corresponde o volume hídrico que falta para atender a demanda - Gráfico B : corresponde a área favorável não contemplada com os recursos hídricos para ser cultivada); (iii) AMES - Área máxima de expansão sustentada. Rótulos (Indicadores): (i) $ICDH_{EI}$ - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Explotável - Sistema de Irrigação; (ii) $IADH_{EI}$ - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Atividade Canvieira em Sistema de Irrigação Compulsória - Disponibilidade Explotável.

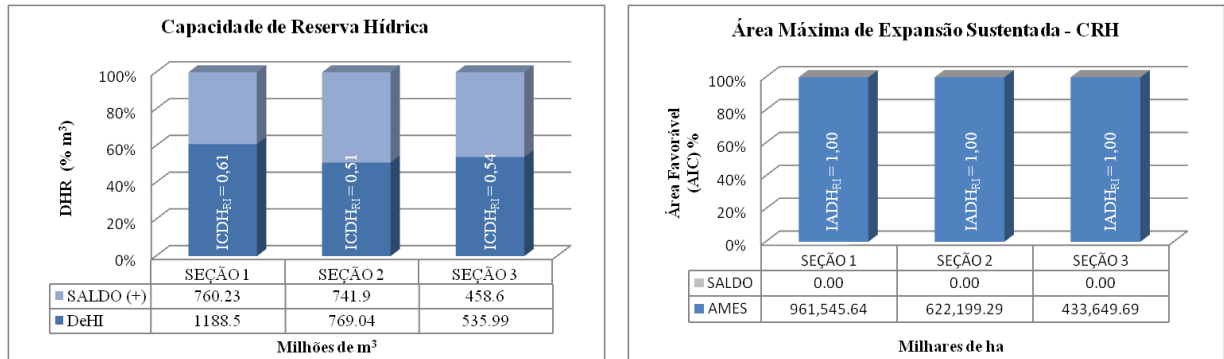


Figura 84 - Gráficos: Capacidade de reserva hídrica e indicador $ICDH_{RI}$, e, Atendimento da demanda hídrica da atividade canvieira em sistema de irrigação e indicador $IADH_{RI}$ - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Mauritânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) DEHI - Demanda hídrica da atividade canvieira em sistema de irrigação compulsória; (ii) SALDO (+) - Saldo hídrico positivo restante; (iii) AMES - Área máxima de expansão sustentada; (iv) SALDO - Saldo neutro ou inexistente. Rótulos (Indicadores): (i) $ICDH_{RI}$ - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Regularizável - Sistema de irrigação; (ii) $IADH_{RI}$ - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da Atividade Canvieira em Sistema de Irrigação Compulsória - Disponibilidade Regularizável.

A situação da disponibilidade hídrica quando se considera a possibilidade de reserva hídrica por acumulação prévia via barramento ou canalização para reservatório “offstream” já

revela uma condição bem mais favorável, com pleno atendimento da demanda hídrica requerida para sustentar a atividade canavieira em irrigação suplementar, nas três seções estudadas. Para tal, o grau de comprometimento da disponibilidade acrescentada pelos excedentes hídricos, dado pelos índices $ICDH_i$, se situa ligeiramente acima de 60%, para a bacia toda, caindo para próximo da metade para as demais seções de monitoramento fluviométrico apreciadas (figura 84).

9.4.4.3 Análise do processo de expansão da cultura canavieira em curso na BH do Rio Verde - GO, durante o período de 2006/2007 a 2010/2011.

A situação atual (ano-safra 2010/2011) e o processo de expansão da cultura canavieira na bacia hidrográfica do Rio Verde podem ser apreciados por meio dos indicadores do módulo 2D do SISH-Cana, a seguir apresentados.

As áreas de ocupação, assim como, a ocupação relativa à área total da bacia ou referidas seções podem ser apreciadas no gráfico da figura 65. Deste modo, percebe-se que a cultura da cana-de-açúcar, relativamente, ocupa uma área ainda pequena, em torno de 87 mil ha o que corresponde a 7% considerando-se a bacia como um todo, e, 21 e 13 mil ha, equivalentes a 2% de cada área de contribuição a montante das estações fluviométricas da Ponte do Rio Verdão e da Ponte de Rodagem, respectivamente. Cabe o registro, no entanto, de que a área correspondente à baixa bacia do Rio Verde (subárea “a”), justamente, do exutório da bacia à estação intermediária (Ponte do Rio Verdão), a cultura já instalada há mais tempo apresenta um área de ocupação bem mais expressiva do que quando considerada a bacia como um todo. A título de ilustração o indicador IOCC registra para esta subárea o valor de 0,16, logo a área ocupada com a cultura canavieira corresponde a 16 % da área total da referida subárea. Notabiliza-se, como um grande produtor de cana-de-açúcar o Município de Santa Helena de Goiás que se encontra, exatamente, nesta porção da bacia em questão.

Com a exceção, justamente, desta área na baixa bacia que já vinha sendo cultivada com a cultura da cana, nas demais seções, o processo de expansão da cultura canavieira é recente, sendo os totais de área ocupada em 2011 quase que integralmente acrescentados no período estudado entre os anos-safra de 2006/2007 a 2010/2011, com uma taxa aproximada de 0,5% acrescentados anualmente à atividade canavieira. O indicador IECC para a bacia integral, registra a marca de 3%, representando um crescimento absoluto de 36 mil hectares

acrescentados à atividade canvieira no período estudado com taxa anual de 0,75%. A área acrescida no período equivale a 41,5% em relação à área anteriormente plantada na bacia, demonstrando uma intensificação do processo de expansão da cultura canvieira apesar de estar ainda em seu início. Nas áreas de contribuição das seções 2 e 3, antes com índices de ocupação muito baixos, apresentaram percentuais de expansão em relação à área cultivada antecedente superiores a 90% demonstrando que o processo de expansão canvieira está se acentuando e se espalhando, incluindo as porções da média e alta bacia. Embora, cabe salientar que o processo ainda é bastante tímido em relação às áreas totais dos respectivos territórios.

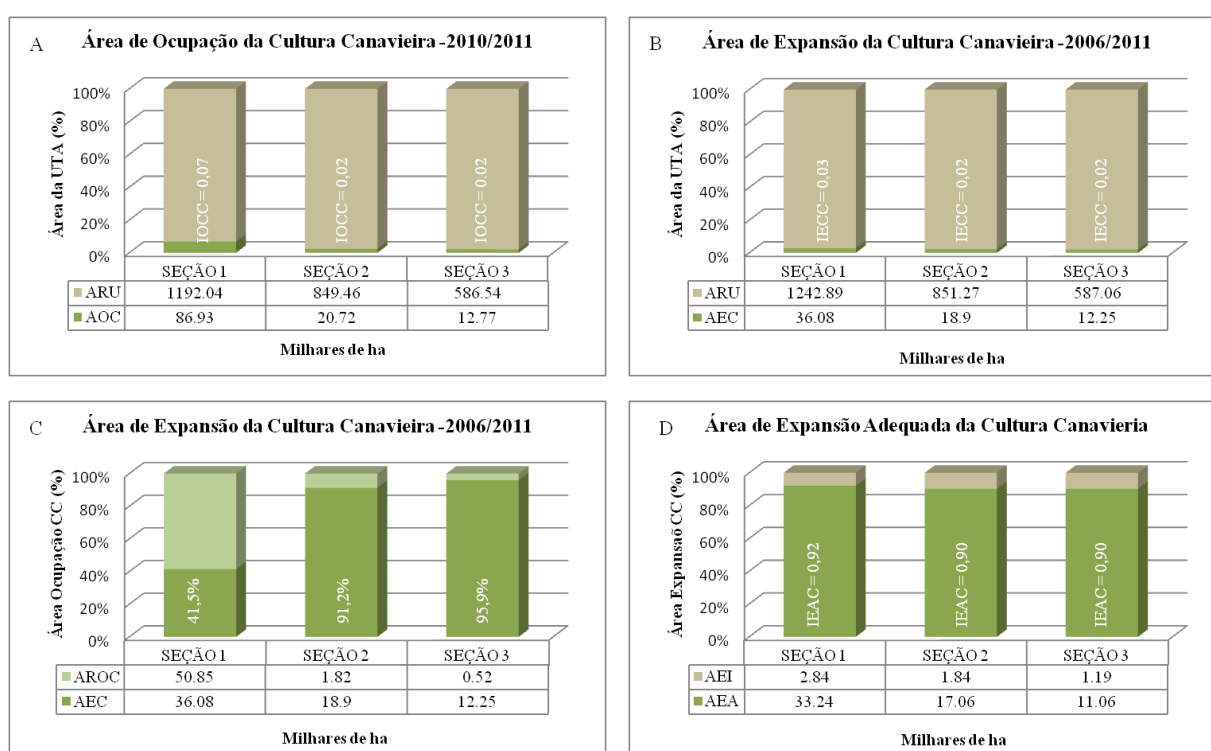


Figura 85 - Gráficos: (A) Área de ocupação da cultura canvieira - 2010/2011 e indicador IOCC; (B) Área de expansão da cultura canvieira - 2006/2011 e indicador IECC; (C) Área relativa de expansão da cultura canvieira - 2006/2011; (D) Área de expansão adequada da cultura canvieira - 2006/2011 e indicador IEAC - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Maurîtânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 3 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) AOC - Área de ocupação da cultura canvieira; (ii) ARU - Área restante da Unidade Territorial de Análise; (iii) AEC - Área de expansão da cultura canvieira; (iv) AROC - Área restante de ocupação da cultura canvieira; (v) AEA - Área de expansão adequada da cultura canvieira; (vi) AEI - Área de expansão inadequada da cultura canvieira. Rótulos (Indicadores): (i) IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canvieira; (ii) IECC - Índice de Expansão da Cultura Canvieira; (iii) IEAC - Índice de Expansão Adequada da Cultura Canvieira.

Do ponto de vista da adequação, o processo de expansão da cultura canavieira ocorrido no período de 2006/2007 a 2010/2011 na bacia do Rio Verde em Goiás demonstrou ter sido bastante seletivo, em termos de apropriação de áreas de alto valor e potencial produtivo, considerando o fato de tratar-se de áreas com topografia suavizada e com solos de média a alta aptidão agrícola. Registrando percentuais superiores a 90% do processo de expansão sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas, os índices de expansão adequada traduzem de modo veemente a articulação do setor sucroalcooleiro em escolher as melhores áreas. Áreas estas que respondam a um manejo de lata tecnologia e garantam um desempenho de alto nível produtivo. É bem verdade que a abundância de áreas adequadas encontradas na bacia reforça esses números e, é possível que na medida em que as áreas preferências forem ficando escassas, pelo acirramento da concorrência com outras atividades agrícolas de igual pujança, o valor do indicador caia na proporção da utilização de áreas de aptidão inferior. De qualquer forma, a situação atual revela um potencial de alto desempenho para a cultura canavieira implantada na bacia do Rio Verde, desde que sejam supridos os déficits hídricos registrados por meio de irrigação suplementar. Menciona-se ainda a possibilidade de emprego, em larga escala, da colheita mecanizada, possibilitando a diminuição do impacto ambiental relacionado às queimadas, mas, em contrapartida, impactando a geração de emprego e renda.

A figura 86 apresenta um gráfico que mostra os respectivos índices indicadores e as áreas de substituição de culturas agrícolas, de pastagens e de supressão da vegetação nativa motivadas pelo processo de expansão da cultura da cana-de-açúcar ocorrido no período especificado na bacia do Rio Verde.

Nota-se, à primeira vista, que mais de 70% do processo de expansão canavieira ocorreu sobre áreas antes ocupadas com outras culturas agrícolas contrastando com os, apenas, 3 a 8% sobre áreas que vinham sendo utilizadas como pastagens. Esta constatação apontada pelos indicadores ISAA e ISAP, demonstram, a princípio, o já conhecido poder do setor agroindustrial sucroalcooleiro em deslocar outras atividades agropecuárias. Haja vista o processo ocorrido no Estado de São Paulo nas décadas antecedentes. Na verdade, o processo de substituição entre a cultura da cana e outras atividades agrícolas, dentre os múltiplos fatores intervenientes, o de interesse maior dessa análise, constitui, justamente, o foco do processo da expansão canavieira que prioriza a agregação de terras com qualidade suficiente que possa garantir maior desempenho técnico e produtividade satisfatória.

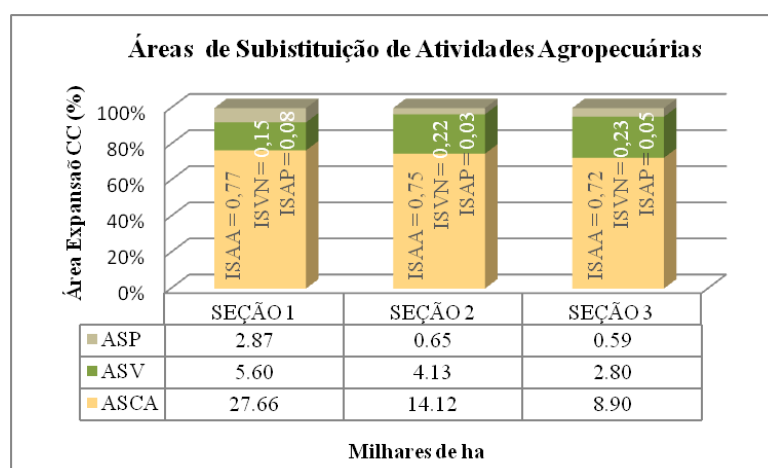


Figura 86 - Gráfico: Áreas de substituição das atividades agropecuárias e supressão da vegetação nativa e indicadores ISAA, ISVN, ISAP - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Maurítânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 3 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) ASCA - Área de substituição de culturas agrícolas; (ii) ASV - Área de supressão da vegetação nativa; (iii) ASP - Área de substituição de pastagens. Rótulos (Indicadores): (i) ISAA - Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (ii) ISVN - Índice de Supressão da Vegetação Nativa; (iii) ISAP - Índice de Substituição de Áreas com Pastagem.

Numa região agrícola, altamente tradicional, como a de Rio Verde, é de se esperar que as melhores áreas, em termos de solo, topografia, água e acesso estejam sendo ocupadas com outras atividades agrícolas que garantem maior retorno por unidade de área. Pela mesma razão, as pastagens são relegadas, em maioria, às áreas de aptidão marginal, com menor potencial produtivo. O que justifica os valores encontrados, consideravelmente, menos expressivos para a substituição das áreas de pastagem pela cultura da cana. Enquanto, os indicadores ISAA e o IEAC, tomados em conjunto, corroboram com a explicação anterior e enfatizam o processo articulado de seleção, apropriação ou integração de terras, do setor agroeconômico entrante na bacia do Rio Verde situada em Goiás.

Chamam a atenção também os valores encontrados para o indicador ISVN que registraram respectivamente para cada seção apreciada, percentuais da ordem de 15, 22 e 23% de supressão de remanescentes nativos para abrir espaço para a cultura canavieira. Valores estes relativamente altos e concordantes com os encontrados para a cobertura de vegetação natural da bacia em apreço (IRVN). Considerando que na maioria dos casos os remanescentes de vegetação natural se encontram ou, em áreas de topos de morro e vertentes com maior declividade, ou, em áreas de vegetação de baixadas (veredas) constituindo matas de galerias e proteção de nascentes. Como as áreas declivosas, além da própria topografia desfavorável, normalmente, são constituídas com solos incipientes de aptidão marginal é provável, apenas

como suposição, que o processo de expansão canavieira esteja suprimindo principalmente as áreas de vegetação ripária, o que, constituiria um vetor de impacto sobre a estabilidade dos processos hidrosedimentológicos da bacia em apreciação.

Por fim, para completar a análise do processo de expansão da atividade canavieira em curso na bacia do Rio Verde, se faz necessário realizar o monitoramento da área de ocupação da cultura da cana-de-açúcar em relação às áreas definidas como “*área máxima de expansão sustentada*” e “*área limite de expansão sustentável*”. Como visto, essas áreas correspondem a limiares de insustentabilidade caso a área da cultura canavieira em expansão na bacia em apreço ultrapasse os limites determinados. O Sistema de Indicadores SISH-Cana adotou esses índices, justamente, para que o analista ou gestor realizasse o monitoramento da atividade canavieira com base em parâmetros de sustentabilidade, entendido, por um lado como a capacidade de provimento do insumo “água” enquanto fator de produção para a atividade canavieira e, por outro, como a manutenção da estabilidade dos fatores intervenientes do processo de produção de água na bacia em apreciação. No primeiro caso, cabe lembrar que a *área máxima de expansão sustentada* é determinada a partir do balanço entre a demanda e a disponibilidade hídrica. Esta última pode ser relativa a qualquer um dos três compartimentos hídricos conceituados como: capacidade de reserva hídrica, disponibilidade hídrica alocável ou disponibilidade explorável. Sendo assim, pode-se adotar qualquer um dos compartimentos explicitados como base para a estimativa da área máxima capaz de ser cultivada com a cultura canavieira de forma sustentada. No entanto, preconiza-se que se adote a situação mais favorável, ou seja, a de maior grau de atendimento da demanda requerida dado pelo indicador IADH, em sua forma genérica. No caso em questão, a situação mais apropriada constitui a utilização da capacidade de reserva dos excedentes hídricos produzidos na bacia nos períodos de ascensão do ciclo hidrológico. E neste caso a área máxima de expansão coincide com a área total favorável ou área de irrigação compulsória visto que o atendimento da demanda foi pleno ($IADH_{RI} = 1,0$).

A figura 87 apresenta os gráficos relativos à situação atual (2010/2011) de ocupação da cultura da cana-de-açúcar em relação à área máxima de expansão sustentada e área limite de expansão sustentável.

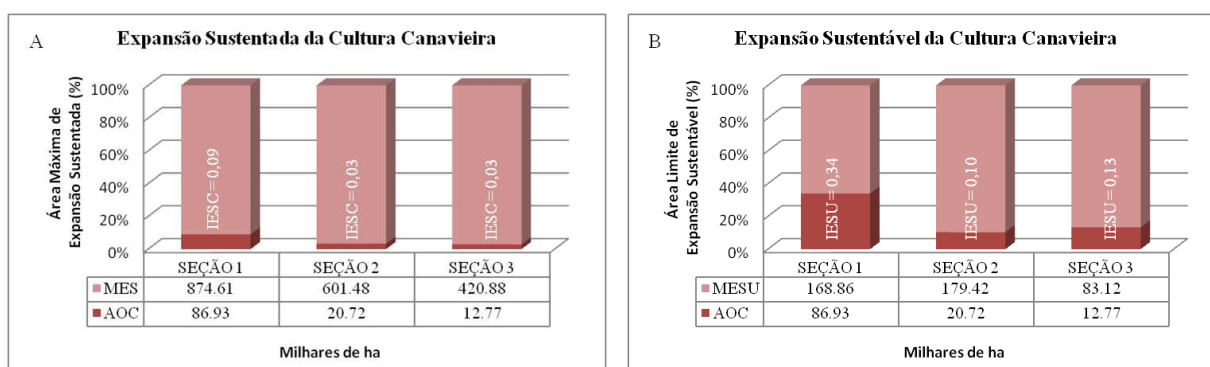


Figura 87 - Gráficos: (A) Expansão sustentada da cultura canavieira e indicador IESC ISVN; (B) Expansão sustentável da cultura canavieira e indicador IESU - Seção 1, 2 e 3.

Nota: Seções: (i) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Maurîtânia; (ii) Seção 2 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte do Rio Verdão; (iii) Seção 1 equivale à Área a montante da Estação Fluviométrica Ponte de Rodagem. Legenda: (i) AOC - Área ocupada pela cultura canavieira; (ii) MÊS - Margem, em área, para a expansão sustentada; (iii) MESU - Margem, em área, para a expansão sustentável. Rótulos (Indicadores): (i) IESC - Índice de Expansão sustentada da cultura canavieira; (ii) IESU - Índice de Expansão sustentável da cultura canavieira.

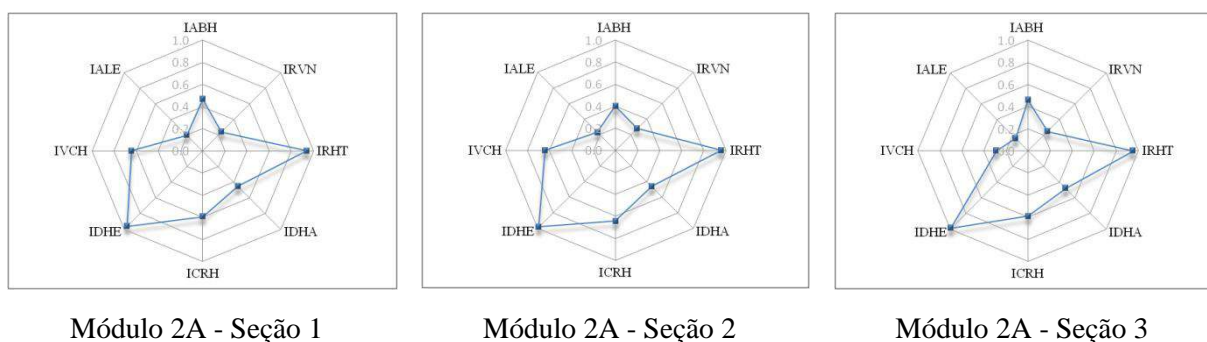
Observando o gráfico A da figura 87 pode-se notar que o nível de ocupação da cultura canavieira, nas três seções estudadas, está ainda muito aquém da área máxima capaz com pleno atendimento da demanda de água requerida pela irrigação e o processamento da produção a nível industrial. A bacia do Rio Verde possui, portanto, em sentido restrito ao conceito abrangido pelo indicador, muita margem para a expansão da cultura canavieira, visto que se registra até o momento apenas 9% da área máxima considerada adequada com suprimento pleno de água. As seções mais a montante registram somente 3% cada uma delas.

O gráfico B da figura 67, por sua vez, expõe os resultados do nível de ocupação atual da cultura da cana na bacia contraposto a área considerada limite de expansão determinada com base em um modelo hidrológico que possa estabelecer uma área máxima para a expansão da cultura sem alterações drásticas na dinâmica do regime hidrológico da bacia de interesse. Constitui um valor limiar de insustentabilidade posto como margem de segurança. Foi visto também que o referido valor no âmbito do estudo de caso desta tese não foi determinado com suficiente rigor para ser explicitado. Contudo, somente para como exemplificação, adotou-se valores arbitrários, completamente hipotéticos, para efeito de exercício do indicador proposto.

Com base neste pode-se apreciar que a ocupação da bacia já atinge a 34% da área limite de expansão sustentável, apresentando, portanto, ainda uma margem de crescimento da ordem de 167 mil hectares. Para as seções foram registrados valores na ordem 179 e 83 mil ha, correspondendo um nível de ocupação na casa dos 10 e 13% das áreas limite hipotetizadas.

9.4.4.4 Síntese descritiva do potencial de sustentabilidade hídrica e do processo de expansão da cultura canavieira ocorrido no período de 2006/2007 a 2010/2011 na BH do Rio Verde - GO.

As figuras 88, 89, 90 e 91 apresentam, respectivamente, os gráficos e os indicadores Figurados dos módulos 2A, 2B, 2C e 2D do SISH-Cana aplicados ao Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Verde.



SEÇÕES	IABH	IRVN	IRHT	IDHA	ICRH	IDHE	IVCH	IALE
Seção 1	0.46	0.24	0.94	0.45	0.60	0.97	0.64	0.20
Seção 2	0.40	0.28	0.96	0.47	0.64	0.98	0.64	0.23
Seção 3	0.46	0.25	0.95	0.48	0.59	0.99	0.29	0.16

Figura 88 - Gráficos e valores Figurados dos indicadores do Módulo 2A: Indicadores do Potencial das UTAs para o Desenvolvimento Sustentável da Atividade Canavieira; referentes às seções da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO.

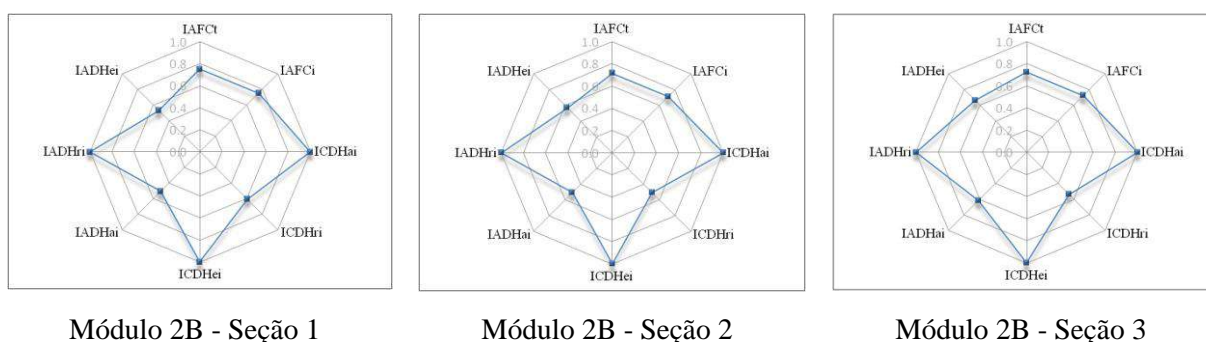
Nota: Indicadores: (i) IABH - Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica (UTA); (ii) IRVN - Índice de Remanescente de Vegetal Natural; (iii) IRHT - Índice de Retirada Hídrica Total; (iv) IDHA - Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável; (v) ICRH - Índice de Capacidade de Regularização Hídrica; (vi) IDHE - Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável; (vii) IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos; (viii) IALE - Índice de Área Limite de Expansão Sustentável.

Com base na avaliação conjunta de todos os indicadores dos Módulos 2A; 2B; 2C; e 2D, a seguir apresenta-se a síntese descritiva de cada seção estudada da bacia hidrográfica do Rio Verde:

Seção 1- Descrição:

Apresentando 24% da área com vegetação natural remanescente a bacia hidrográfica do Rio Verde encontra-se com alto grau de antropização, com padrão, predominantemente, rural, mas, com um nível de exploração dos recursos hídricos, relativamente baixo considerando a produção de água média da bacia. A bacia não apresenta favorabilidade

climática para o cultivo da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro, sendo compulsório o uso de irrigação em regime suplementar e/ou de salvamento.



SEÇÕES	IAFC _T	IAFC _I	ICDH _{AI}	ICDH _{RI}	ICDH _{EI}	IADH _{AI}	IADH _{RI}	IADH _{EI}
Seção 1	0.75	0.75	1.00	0.61	1.00	0.50	1.00	0.53
Seção 2	0.72	0.72	1.00	0.51	1.00	0.51	1.00	0.57
Seção 3	0.72	0.72	1.00	0.54	1.00	0.62	1.00	0.66

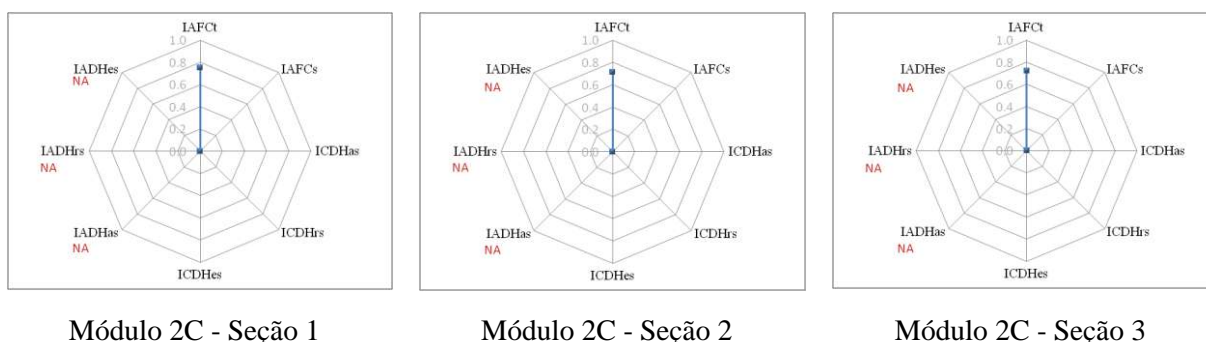
Figura 89 - Gráficos e valores Figurados dos indicadores do Módulo 2B: Indicadores do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira em Sistema de Irrigação; referentes às seções da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO.

Nota: Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira; (ii) IAFC_I - Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; (iii) ICDH_{AI} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Alocável - Sistema de Irrigação Compulsória; (iv) ICDH_{RI} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Regularizável - Sistema de Irrigação Compulsória; (v) ICDH_{EI} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Explotável - Sistema de Irrigação Compulsória; (vi) IADH_{AI} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica - Alocável, Sistema de Irrigação; (vii) IADH_{RI} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica - Regularizável, Sistema de Irrigação; (viii) IADH_{EI} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica - Explotável, Sistema de Irrigação.

A disponibilidade hídrica alocável é mediana e, teria que ser totalmente comprometida para atender apenas a 50% da demanda de água requerida para o cultivo da metade da área total favorável a cultura canavieira conduzida com irrigação, o que equivale a 75% da área total da bacia em apreço. A disponibilidade hídrica explotável ainda é muito alta, mas, insuficiente para atender toda a demanda potencial de água exigida para a irrigação da cultura e processamento industrial da produção potencial, e, teria que ser totalmente comprometida para sustentar a expansão de 53% da área total favorável a cultura canavieira em sistema de irrigação suplementar.

A capacidade de regularização da vazão da bacia é, consideravelmente, alta, podendo acrescentar volumes hídricos suficientes para atender toda a demanda potencial de água exigida para a irrigação da cultura e processamento industrial da produção canavieira, com um comprometimento da ordem de 61% dos excedentes hídricos produzidos pela bacia. A

bacia ainda apresenta um grau de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos de médio a alto e um limite para a expansão sustentável da atividade canvieira restrito a 20% da área total da bacia para não comprometer o regime de produção de água da bacia. Atualmente (2010/2011) a cultura canvieira ocupa uma área equivalente a 7% da área total da bacia e, nos últimos quatro anos, vem crescendo a uma taxa anual de 0,75%

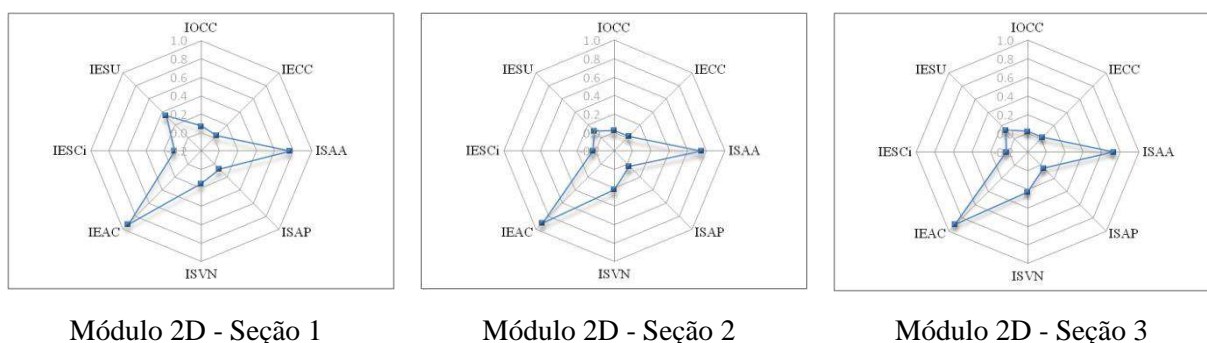


SEÇÕES	IAFC _T	IAFC _S	ICDH _{AS}	ICDH _{RS}	ICDH _{ES}	IADH _{AS}	IADH _{RS}	IADH _{ES}
Seção 1	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	NA	NA	NA
Seção 2	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	NA	NA	NA
Seção 3	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	NA	NA	NA

Figura 90 - Gráficos e valores Figurados dos indicadores do Módulo 2C: Indicadores do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canvieira em Sistema de Sequeiro; referentes às seções da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO.

Nota: Indicadores: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canvieira; (ii) IAFC_S - Índice de Área Favorável para a Cultura Canvieira em Sistema de Sequeiro; (iii) ICDH_{AS} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Alocável - Sistema de Sequeiro; (iv) ICDH_{RS} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Regularizável - Sistema de Sequeiro; (v) ICDH_{ES} - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Explotável - Sistema de Sequeiro; (vi) IADH_{AS} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica - Alocável, Sistema de Sequeiro; (vii) IADH_{RS} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica - Regularizável, Sistema de Sequeiro; (viii) IADH_{ES} - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica - Explotável, Sistema de Sequeiro.

Setenta e sete por cento do processo de expansão da cultura canvieira ocorreu sobre áreas tradicionalmente ocupadas com outras culturas agrícolas e apenas 8% sobre áreas antes ocupadas com pastagens. Observa-se que em 15% da área total de expansão da cultura canvieira, ocorrida no período, houve supressão de vegetação nativa. E, 92% do processo de expansão da cultura canvieira ocorreu sobre áreas com topografia adequada e aptidão edáfica para o cultivo da cana-de-açúcar. Ainda há na bacia muita margem para a expansão da cultura canvieira de forma sustentada que ocupa, atualmente, apenas 9% da área máxima prevista. Entretanto, a cultura da cana já ocupa 34% da área limite, além da qual pode haver comprometimento da sustentabilidade dos recursos hídricos.



SEÇÕES	IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC ₁	IESU
Seção 1	0.07	0.03	0.77	0.08	0.15	0.92	0.09	0.34
Seção 2	0.02	0.02	0.75	0.03	0.22	0.90	0.03	0.10
Seção 3	0.02	0.02	0.72	0.05	0.23	0.90	0.03	0.13

Figura 91 - Gráficos e valores Figurados dos indicadores do Módulo 2D: Indicadores do Processo de Expansão da Cultura Canavieira; referentes às seções da Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GO.

Nota: Indicadores: (i) IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA - Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP - Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN - Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IESC_S - Índice de Expansão Sustentada - Sistema de Sequeiro; (vii) IESC₁ - Índice de Expansão Sustentada Sistema de Irrigação Compulsória; (viii) IESU - Índice de Expansão Sustentável.

Cumprir observar que a restrição de 20% da área total da bacia para a expansão canavieira, assim como, a ocupação de 34% da área limite, constituem percentagens puramente hipotéticas, tendo sido mencionadas apenas para exemplificar a aplicação dos indicadores IALE e IESU.

❖ Seção 2- Descrição:

Apresentando 28% da área com vegetação natural remanescente a seção da bacia hidrográfica do Rio Verde à montante da estação fluviométrica *Ponte do Rio Verdão* encontra-se com alto grau de antropização, com padrão, predominantemente, rural, mas, com um nível de exploração dos recursos hídricos, relativamente baixo considerando a produção de água média da bacia. A seção da bacia não apresenta favorabilidade climática para o cultivo da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro, sendo compulsório o uso de irrigação em regime suplementar e/ou de salvamento. A disponibilidade hídrica alocável é mediana e, teria que ser totalmente comprometida para atender apenas a 51% da demanda de água requerida para o cultivo da área total favorável a cultura canavieira em sistema de irrigação, o que equivale a 72% da área total da seção da bacia em apreço. A disponibilidade hídrica explorável ainda é muito alta, mas, insuficiente para atender toda a demanda potencial de água

exigida para a irrigação da cultura e processamento industrial da produção potencial, e, teria que ser totalmente comprometida para sustentar a expansão de 57% da área total favorável a cultura canavieira em sistema de irrigação suplementar. A capacidade de regularização da vazão da seção da bacia é, consideravelmente, alta, podendo acrescentar volumes hídricos suficientes para atender a toda a área e demanda potencial de água exigida para a irrigação da cultura e processamento industrial da produção canavieira, com um comprometimento da ordem de 51% dos excedentes hídricos produzidos pela bacia. A bacia ainda apresenta um grau de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos de médio a alto e um limite para a expansão sustentável da atividade canavieira restrito a 23% da área total da bacia para não comprometer o regime de produção de água da bacia. Atualmente (2010/2011) a cultura canavieira ocupa uma área equivalente a 2% da área total da seção bacia em apreço e, nos últimos quatro anos, vem crescendo a uma taxa anual de 0,50%. Setenta e cinco por cento do processo de expansão da cultura canavieira ocorreu sobre áreas tradicionalmente ocupadas com outras culturas agrícolas e apenas 3% sobre áreas antes ocupadas com pastagens. Observa-se que em 22% da área total de expansão da cultura canavieira, ocorrida no período, houve supressão de vegetação nativa. E, 90% do processo de expansão da cultura canavieira ocorrido sobre áreas com topografia adequada e aptidão edáfica para o cultivo da cana-de-açúcar. Ainda há na seção considerada da bacia muita margem para a expansão da cultura canavieira de forma sustentada que ocupa, atualmente, apenas 3% da área máxima prevista. Entretanto, a cultura da cana ocupa 10% da área limite, além da qual pode haver comprometimento da sustentabilidade dos recursos hídricos.

Cumprindo observar que a restrição de 23% da área total da bacia para a expansão canavieira, assim como, a ocupação de 10% da área limite, constituem percentagens puramente hipotéticas, tendo sido mencionadas apenas para exemplificar a aplicação dos indicadores IALE e IESU.

❖ *Seção 3- Descrição:*

Apresentando 25% da área com vegetação natural remanescente a seção da bacia hidrográfica do Rio Verde a montante da estação fluviométrica *Ponte de Rodagem* encontra-se com alto grau de antropização, com padrão, predominantemente, rural, mas, com um nível de exploração dos recursos hídricos, relativamente baixo considerando a produção de água média da bacia. A seção da bacia não apresenta favorabilidade climática para o cultivo da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro, sendo compulsório o uso de irrigação em regime suplementar e/ou de salvamento. A disponibilidade hídrica alocável é mediana e, teria que ser

totalmente comprometida para atender a 62% da demanda de água requerida para o cultivo da área total favorável a cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória que equivale a 72% da área total da bacia em apreço. A disponibilidade hídrica explorável ainda é muito alta, mas, insuficiente para atender toda demanda potencial de água exigida para a irrigação da cultura e processamento industrial da produção potencial, e, teria que ser totalmente comprometida para sustentar a expansão de 66% da área total favorável a cultura canavieira em sistema de irrigação suplementar. A capacidade de regularização da vazão da seção da bacia é, consideravelmente, alta, podendo acrescentar volumes hídricos suficientes para atender a toda a área e demanda potencial de água exigida para a irrigação da cultura e processamento industrial da produção canavieira, com um comprometimento da ordem de 54% dos excedentes hídricos produzidos pela bacia. A seção da bacia ainda apresenta grau de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos de médio para baixo e um limite para a expansão sustentável da atividade canavieira restrito a 16% da área total da bacia para não comprometer o regime de produção de água da bacia. Atualmente (2010/2011) a cultura canavieira ocupa uma área equivalente a 2% da área total da seção da bacia e, nos últimos quatro anos, vem crescendo a uma taxa anual de 0,50%. Setenta e dois por cento do processo de expansão da cultura canavieira ocorreu sobre áreas tradicionalmente ocupadas com outras culturas agrícolas e apenas 5% sobre áreas antes ocupadas com pastagens. Observa-se que em 23% da área total de expansão da cultura canavieira, ocorrida no período, houve supressão de vegetação nativa. E, 90% do processo de expansão da cultura canavieira ocorrido sobre áreas com topografia adequada e aptidão edáfica para o cultivo da cana-de-açúcar. Ainda há na bacia muita margem para a expansão da cultura canavieira de forma sustentada que ocupa, atualmente, apenas 3% da área máxima prevista. Entretanto, a cultura da cana ocupa 13% da área limite, além da qual pode haver comprometimento da sustentabilidade dos recursos hídricos.

Cumpra observar que a restrição de 16% da área total da bacia para a expansão canavieira, assim como, a ocupação de 13% da área limite, constituem percentagens puramente hipotéticas, tendo sido mencionadas apenas para exemplificar a aplicação dos indicadores IALE e IESU.

Por ter sido constatada expressiva uniformidade em relação à variação e ordem de grandeza da maioria dos indicadores aplicados, sugerindo acentuada homogeneidade das condições das seções estudadas da bacia hidrográfica do Rio Verde, a seguir será apresentada uma única conclusão geral a respeito da bacia como um todo:

❖ *Conclusão geral:*

A bacia hidrográfica do Rio Verde possui, a princípio, bom potencial para o desenvolvimento da atividade canavieira, devido à abundância de áreas favoráveis para a mesma. Entretanto, esta favorabilidade aliada à obrigatoriedade da condução da cultura em regime de irrigação suplementar configura, em caso de uma expansão não planejada da cultura canavieira, uma perspectiva de grande pressão sobre os recursos hídricos da bacia. Recursos estes que contam ainda com boa disponibilidade de água no que tange a reserva explorável, mas, que decresce consideravelmente caso se considere a possibilidade de alocação de água direta dos corpos hídricos superficiais. É, entretanto, na capacidade de acumulação prévia dos excedentes hídricos que reside a melhor alternativa para sustentar uma nova atividade agroindustrial em expansão que necessite de abundância de água como fator de produção. Contudo, considerando o alto grau de comprometimento, em torno de 50% das vazões excedentes produzidas, para sustentar a expansão potencial da cultura canavieira potencial até o limite da área máxima favorável e, o nível relativamente alto de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, se fará necessário implantar mecanismos de controle, por meio de concessão de outorga, sobre o uso da água na bacia em apreciação. Visando à implantação de uma gestão integrada dos recursos hídricos que contemple os múltiplos setores usuários da água, incluindo o novo setor econômico pleiteante. O processo de expansão da cultura canavieira na bacia do Rio Verde está apenas se iniciando e ainda há muita margem para o crescimento da atividade canavieira de forma sustentada, desde que, observadas as restrições impostas pela disponibilidade hídrica. Os indicadores sugerem que o processo de expansão canavieira na bacia tem sido bastante seletivo em termos de se apropriar das melhores áreas, com topografia adequada e solos de boa aptidão, o que, permite elevado desempenho técnico. Potencialmente, as áreas de expansão viabilizam a adoção da colheita mecanizada, permitem o emprego de alta tecnologia, possibilitando a obtenção de elevada produtividade. Contudo, predominantemente, o processo de expansão tem ocorrido sobre áreas tradicionalmente cultivadas com outras culturas agrícolas, acirrando a concorrência pelo espaço e meios de produção, o que pode gerar impactos futuros sobre o emprego e renda. Observa-se que a substituição de pastagens pela cultura da cana-de-açúcar é, em relação à área de culturas agrícolas substituídas, consideravelmente, pequena. Esta evidência pode estar calcada no fato de que, por um lado, as áreas ocupadas com pastagens em uma região com forte tradição agrícola são naturalmente mais restritas, por outro, pela mesma razão estas ocupam os solos de aptidão marginal e o setor canavieiro, como sugerido, articuladamente tem selecionado as áreas de maior potencial produtivo. Chama atenção

também os altos percentuais de supressão da vegetação nativa para dar lugar à cultura canavieira o que motiva, naturalmente, preocupação quanto à salvaguarda dos 24% de remanescentes florestais da bacia do Rio Verde.

10 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

10.1 Conclusões

Considerando a elaboração do Sistema de Indicadores para a Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira, a contribuição metodológica, a demonstração da aplicabilidade do Sistema por meio dos Estudos de Casos e os resultados por estes obtidos, as conclusões desta tese podem ser apresentadas a partir várias óticas. Assim para facilitar a compreensão a seguir as conclusões serão apresentadas em itens.

Do ponto de vista dos objetivos predeterminados por este trabalho, pode-se concluir que:

- Do ponto de vista dos objetivos colocados, geral e específicos, pode-se concluir que todos foram alcançados satisfatoriamente dentro dos pressupostos estabelecidos;
- O objetivo geral do presente trabalho como explicitado nos capítulos introdutórios consistiu na proposição, desenvolvimento metodológico e elaboração de um Sistema de Indicadores orientado para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica e monitoramento da atividade canavieira em subsídio aos processos de planejamento e gestão territorial, ambiental ou setorial. O objetivo foi atingido com a proposição do SISH-Cana que se aplica a dois níveis de planejamento e gestão: Estratégico e Tático;
- Dentre os objetivos específicos o primeiro que foi destacado prometia o desenvolvimento de uma abordagem metodológica, baseada na modelagem conceitual do problema de gestão ambiental suscitado pelo caso da expansão da atividade canavieira sobre o bioma Cerrado/ Região Centro-oeste do Brasil e a pressão sobre os recursos hídricos. O objetivo foi atingido e a metodologia proposta e desenvolvida no âmbito deste trabalho demonstrou-se ser capaz de atender aos propósitos explicitados. Pode se considerar que embora a proposta metodológica tenha sido desenvolvida com o objetivo precípua de para atender às exigências do presente trabalho a mesma pode servir de referência para outros trabalhos similares que se defrontem com desafio semelhante. Contudo, cabe salientar que não existe uma metodologia para a elaboração de sistemas de indicadores que tenha aplicação universal e seja completa por si só, exigindo sempre a necessidade de se ajustar aos casos particulares para se adaptar as especificações de cada proposta. Outra crítica que se pode colocar é que as

metodologias ou estruturas conceituais de referência permitem diversas interpretações aumentando a subjetividade no processo de estruturação do sistema e de proposição de indicadores e, as usadas nesta tese, não constituem exceção à regra;

- O segundo objetivo específico consistiu na proposição e elaboração de módulos componentes do Sistema de Indicadores especificamente orientado para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira. Meta esta atingida pela proposição, estruturação e elaboração dos Módulos A da Parte 1 e A e B da Parte 2 do SISHM-CANA. Neste particular, pode-se concluir que a proposição de todos os indicadores componentes destes módulos foi aderente às premissas colocadas pelos Eixos de Gestão, respondendo satisfatoriamente às questões-chave e atendendo aos propósitos almejados;
- O terceiro objetivo específico consistiu na proposição e elaboração de módulos componentes do Sistema de Indicadores especificamente orientado para o monitoramento e avaliação do processo de expansão da cultura canavieira em cada Unidade Territorial de Análise (UTA). O propósito foi atingido com a estruturação e elaboração dos Módulos B e C da Parte 1 e 2 do SISH-Cana, respectivamente, e os indicadores selecionados e/ou propostos demonstraram capacidade de responder satisfatoriamente às questões-chave e aderência aos preceitos colocados pelo Eixo de Gestão nº3 que orientaram o estabelecimento dos indicadores desses módulos;
- O quarto objetivo específico consistiu em realizar um estudo de caso nas 4 Microrregiões da Mesorregião Sul Goiano: Sudoeste de Goiás; Vale do Rio dos Bois; Quirinópolis e Meia Ponte - do Estado de Goiás (*hotspots* de expansão canavieira) para demonstrar a aplicabilidade do Sistema de Indicadores para a Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica e Monitoramento da Atividade Canavieira, orientado ao nível estratégico de planejamento e gestão. O objetivo foi atingido e o Sistema de Indicadores mostrou-se capaz de realizar uma avaliação analítica e uma síntese descritiva, tanto das microrregiões quanto dos seus municípios componentes, propostos no Estudo de Caso. Conclui-se que foi plenamente demonstrada a aplicabilidade da Parte 1 do SISHM-Cana, orientada a auxiliar os processos de gestão setorial no nível estratégico;
- O quinto objetivo específico consistiu em realizar um estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Verde situada na Mesorregião Sul Goiano no Estado de Goiás para demonstrar a aplicabilidade do Sistema de Indicadores para a Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica e Monitoramento da Atividade Canavieira,

orientado ao nível Tático de planejamento e gestão. O objetivo foi atingido e o Sistema de Indicadores mostrou-se capaz de realizar uma avaliação analítica e uma síntese descritiva, das três seções da bacia do Rio Verde avaliadas. Conclui-se que foi plenamente demonstrada a aplicabilidade da Parte 2 do SISHM-Cana, orientada a auxiliar os processos de gestão setorial no nível tático;

Do ponto de vista do desempenho do SISH-Cana , pode-se concluir que:

- Do ponto de vista do desempenho do Sistema SISH-Cana em relação à estrutura funcional proposta, pode-se concluir que o Sistema funcionou de modo adequado, atendendo os pressupostos considerados e facilitando os procedimentos de avaliação. A divisão do Sistema em *módulos*, representando conjuntos de indicadores orientados para atender os propósitos explicitados por cada eixo de gestão, permitiu realizar sínteses descritivas das situações encontradas tanto nos estudos de caso aplicados ao nível estratégico quanto tático. Por outro lado, os *grupos* de indicadores que constituem agrupamentos temáticos ou funcionais, permitiram a visualização do problema em subtemas e a avaliação analítica da situação encontrada em cada unidade territorial avaliada;
- Do ponto de vista do desempenho do Sistema SISH-Cana em relação aos resultados obtidos em conjunto pelos indicadores aplicados nos Estudos de Caso pode-se concluir que os mesmos foram suficientemente sensíveis para descrever as singularidades e acentuar as diferenças contrastantes entre as UTAs analisadas.

Do ponto de vista do desempenho dos indicadores do SISH-Cana , pode-se concluir que:

- Do ponto de vista do desempenho dos indicadores do Sistema SISH-Cana em relação à relevância no sentido de terem sido capazes de responder as questões-chave balizadoras a que se propuseram responder, pode-se concluir que, de uma forma geral, todos foram satisfatórios. Cabe esclarecer, contudo, que a avaliação do desempenho individual de cada indicador revela que nem todos os indicadores atingem a mesma condição (condição ideal) baseada nas demais propriedades qualitativas que foram consideradas para a seleção de indicadores: relevância, rigor científico, suficiência, sensibilidade e comunicabilidade;

Do ponto de vista dos métodos utilizados para a determinação dos indicadores do SISH-Cana nos Estudos de Caso, pode-se concluir que:

- A maioria dos métodos utilizados para os Estudos de Caso realizados atenderam satisfatoriamente o propósito principal de demonstração da aplicabilidade Sistema SISH-CANA, podendo, inclusive serem padronizados como os métodos recomendados para a determinação dos indicadores do referido Sistema. Entretanto, cabe mencionar que alguns métodos ainda podem ser melhor ajustados, destacando-se neste sentido, os procedimentos metodológicos utilizados para se determinar os *Índices de substituição de áreas agrícolas e pastagens e o Índice de supressão da vegetação nativa*.

Do ponto de vista da hipótese levantada e sustentada por esta Tese, pode-se concluir que:

Em relação à hipótese levantada e sustentada por esta Tese de que: *é possível “traduzir” informações técnico-científicas, herméticas, em informações inteligíveis de valor prático e gerencial por meio de indicadores organizados em um sistema e determinados a partir de dados disponíveis em bases públicas ou extraídos de modelos temáticos espacializados por meio de procedimentos simplificados* – como uma contribuição metodológica para o planejamento da expansão da atividade canavieira, considerou que, pela exposição do desenvolvimento metodológico e dos resultados atingidos, demonstrados e evidenciados pelas conclusões anteriormente colocadas, que a hipótese levantada foi devidamente comprovada.

10.2 Considerações finais

Por fim, cabe deixar para o leitor algumas considerações finais relacionadas às potencialidades e limitações do Sistema de Indicadores SISH-Cana, proposto nesta Tese, assim como, algumas sugestões para a melhoria do trabalho apresentado ou ainda em relação às perspectivas de continuidade da pesquisa a este relacionada.

Do ponto de vista do potencial de aplicação do Sistema de Indicadores SISH-Cana, cabe mencionar que o Sistema, na forma em que foi proposto, dividido em Partes, Módulos, Blocos e Grupos, representando subconjuntos de indicadores reunidos por nível de gestão,

foco de gestão, tema ou função, demonstrou ser bastante flexível, visto que, os indicadores desses compartimentos podem ser utilizados de forma independente ou complementar, dependendo da análise ou da aplicação que se deseja fazer. Assim, um hipotético analista usuário do Sistema, dependendo do seu interesse pode, por exemplo, utilizar: (i) A Parte 1 (Nível estratégico) do SISH-Cana para fazer uma avaliação geral de uma dada microrregião para identificar os municípios com maior potencial para o desenvolvimento sustentado para a atividade canavieira e, depois, utilizar a Parte 2 (Nível Tático) do Sistema para avaliar cada bacia hidrográfica dos municípios selecionados; (ii) O Módulo 2A do SISH-Cana para fazer uma triagem das bacias hidrográficas candidatas à avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da cultura canavieira utilizando desta vez o Módulo 2B (BL 1 e 2); (iii) Os Módulos 1A ou 2A e 2B, se estiver interessado apenas na avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira nas UTAs de seu interesse, ou, ao contrário utilizar somente os Módulos 1B e 2C caso queira somente monitorar a evolução do processo de expansão da cultura canavieira em um dada UTA de seu interesse. (iv) somente os Grupos para fazer uma análise tema-a-tema conforme demonstrado nos Estudos de Caso, ou ainda, o Bloco inteiro para realizar sínteses descritivas das UTAs de interesse. Deste modo, o que se está chamando a atenção é para a flexibilidade que o Sistema possui, pois foi pensado para atender a múltiplos propósitos.

Outro aspecto relacionado à flexibilidade do Sistema que deve ser considerado é quanto à flexibilidade “interpretativa” dos indicadores. É evidente que a variação dos valores dos indicadores, como apresentado na descrição de cada um deles, apresenta significado, de outra forma, não seriam “indicadores”. Porém, o que se pretende esclarecer é que, afora alguns, que conceitualmente já estabelecem valores de criticidade ou de referência, a maioria dos indicadores entre os extremos dos seus intervalos de variação que possuem significados explícitos, a interpretação dos indicadores fica a cargo do analista por meio do estabelecimento de limites qualitativos conforme o seu conhecimento, foco ou interesse de análise. Por exemplo. *O que significa 30% de comprometimento da disponibilidade hídrica alocável?* Dependendo da situação da bacia e do foco da avaliação considerada pelo analista pode assumir diferentes significados. Esta propriedade traz ainda mais flexibilidade ao Sistema SISH-Cana. Entretanto, cumpre destacar que dois indicadores propostos necessitam do estabelecimento de parâmetros de referência, visto que, o significado que veiculam não é tão explícito, direto ou intuitivo. São eles, os Índices: (i) *IVCH - Índice de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos*; e (ii) *IABH - Índice de antropização de bacias hidrográficas*. Pois, a forma de determinação por média ponderada das áreas das classes

qualificadas, dificulta a interpretação imediata do indicador sem parâmetros de referência. Contudo, apesar da flexibilidade de interpretação dos indicadores constituir uma propriedade interessante que o Sistema apresenta, não é incompatível que se proponha um *sistema de parâmetros de referência geral* que permita a realização de uma interpretação padronizada dos indicadores. Uma vez acoplado ao Sistema, a opção de utilizá-lo ficaria sob a decisão do analista usuário do Sistema. Nesta mesma direção, outra alternativa, seria propor índices agregados que pudessem transmitir, de forma sintética e discriminada em classes qualitativas, a informação central de cada módulo relacionado aos diferentes focos de gestão. Por exemplo, poderia ser proposto um *Índice Geral do Potencial de Sustentabilidade hídrica* ou um *Índice Geral de Expansão Sustentável* que representariam a ponderação de todos os indicadores dos respectivos módulos. Esta opção é interessante para o *gestor* de alto nível hierárquico que precisa saber somente a informação direta a respeito de quais são as unidades territoriais com maior potencial de sustentabilidade hídrica ou aquelas nas quais o processo de expansão da cultura canavieira tem se desenvolvido de forma sustentável. Por esta opção, evidentemente, se perde em detalhe analítico mais se ganha em síntese, sendo, portanto, adequada para determinados níveis de gestão. Estas alternativas que poderiam ser acopladas ao SISH-Cana, a princípio, extrapolam os propostos originais deste trabalho, mas registra-se aqui, como sugestão, a possibilidade de serem futuramente desenvolvidas.

Outro aspecto demonstrativo da flexibilidade do Sistema de Indicadores SISH-Cana é que a sua estrutura modular permite que se acrescentem outros blocos ou módulos reunindo indicadores orientados a outros temas relacionados à sustentabilidade da cultura canavieira, abrindo assim o escopo temático considerando a perspectiva de evolução prática do Sistema. Por exemplo, poderia se desenvolver um módulo de indicadores para a previsão das tendências de expansão da atividade canavieira orientado para responder a importante questão de gestão: *Para onde a atividade canavieira apresenta a maior tendência para expandir?* Os indicadores, neste caso, poderiam ser baseados em parâmetros tanto da favorabilidade do meio físico quanto nos condicionantes (forças propulsoras) do meio socioeconômico, como, por exemplo, aspectos “georreferenciáveis” relacionados à infraestrutura como a localização de estradas, usinas, alcooldutos, etc, como outros indicadores “não georreferenciáveis” relacionados à favorabilidade político-econômica das UTAs. Ou ainda, a proposição de módulos focados na avaliação de outros recursos naturais como, por exemplo, os solos. Neste módulo extra, além da aptidão agrícola dos solos já contemplada, se poderia propor indicadores específicos para contemplar questões como o risco de erosão dos solos, compactação, dentre outras.

Outro aspecto interessante notado em relação ao Sistema de Indicadores SISH-Cana e que, pode ser considerado é que os indicadores, na forma em que foram propostos, poderiam ser substituídos por outros similares ou mesmo alguns mais ajustados sem interferir fundamentalmente na capacidade de avaliação ou função relacionada ao foco de gestão dos módulos a que pertencem. O que se pretende salientar é que o “Sistema” é mais importante do que cada indicador considerado individualmente. Ou seja, o conjunto articulado e integrado de indicadores, propositadamente organizados em grupos e módulos, é mais importante para o funcionamento do Sistema do que propriamente a formulação particular dos indicadores. Da mesma forma que se observa que os indicadores selecionados ou propostos têm prevaência sobre os métodos e requisitos técnicos adotados para determiná-los. Ou seja, poder-se-ia mudar os parâmetros estimadores de um dado indicador, visando à melhoria da acurácia ou da relevância do estimador, sem alterá-lo essencialmente, da mesma forma que, pode-se propor um indicador mais ajustado para uma dada função (posição) sem alterar a essência do Sistema como um todo.

Do ponto de vista das limitações do Sistema de Indicadores SISH-Cana, cumpre registrar as principais. Assim na esfera dos procedimentos metodológicos, alguns métodos ou fonte de dados e informação impõem ao Sistema certa limitação de ordem prática para a sua aplicação. Neste sentido, ainda que existentes, nem todos os dados requeridos para a determinação dos indicadores, estão prontamente acessíveis ou na forma adequada. Para as fontes de dados não públicas se faz necessário recorrer a solicitações especiais, o que, evidentemente, não garante o acesso aos dados e informações necessários. Quando os dados são obtidos ou cedidos em formato não prontamente utilizável, necessitam de laboriosos processos de transformação e/ou extração dos dados o que, obviamente, acrescenta um grau a mais de dificuldade prática. Por outro lado, os indicadores que são calculados a partir dos dados extraídos de modelos específicos exigem ou dependem da elaboração propositada desses modelos. E, considerando a perspectiva de aplicação do Sistema SISH-Cana para a avaliação de grandes extensões territoriais no âmbito de levantamentos exaustivos, torna-se evidente mais esta limitação.

Considerando todos os resultados obtidos por esta Tese e as ponderações feitas anteriormente, uma última consideração a respeito dos procedimentos metodológicos deve ser colocada. Consideração esta que diz respeito à necessidade de se adotar uma padronização metodológica mínima para que se possa cotejar os resultados de diferentes estudos aplicados por meio do Sistema de Indicadores SISH-Cana .

Considerando a possibilidade de melhoria do Sistema de Indicadores SISH-Cana , como última sugestão colocada, fica a idéia de se promover um processo de validação dos indicadores e de aperfeiçoamento da metodologia proposta através da aplicação de algum método de consenso como, por exemplo, o DELPHI, em uma rodada entre especialistas.

Por fim, considera-se que o Trabalho de Tese que ora se encerra, sem sobreposição de propósitos, apresenta uma abordagem metodológica complementar a outros trabalhos ou Projetos oficiais como o ZAE Cana (Embrapa 2009) e o Projeto CANASAT (INPE) de suma importância para o estudo da temática considerada. E assim, o presente trabalho constitui apenas uma contribuição para o desenvolvimento de metodologias voltadas para o subsídio de planejamentos e programas de gestão que busquem promover o melhor uso dos recursos naturais, notadamente os recursos hídricos, sob a égide do desenvolvimento sustentável.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, K.; CASTRO, S.S. Dinâmica de uso do solo da expansão sucroalcooleira na Microrregião Meia Ponte, estado de Goiás, Brasil. In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., 2010, Portugal. **Anais**. Disponível em: <<http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus>>. Acesso em: 5 de jan. 2010.

AGRA, S.G.; SOUZA, V.C.B.; NEVES, M.G.F.P.; CRUZ, M.A.S. Metodologias de regionalização de vazões: Estudo comparativo na bacia do Rio Carneiro – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15, 2005, João Pessoa. **Resumos Expandidos...** Porto alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005, p. 1-20.

ALDAY, H. E. C. **O planejamento estratégico dentro do conceito de administração.** Revista FAE, Curitiba, v.3, n.2, p.9-16. maio/ago, 2000. Disponível em: <http://www.fae.edu/publicacoes/pdf/revista_da_fae/fae_v3_n2/o_planejamento_estrategio.pdf> . Acesso em: 10.ago. 2010.

ALMEIDA, L.; RESENDE, L.; RODRIGUES, A.P.; CAMPOS, J.E.G. **Hidrogeologia do Estado de Goiás e Distrito Federal.** Goiás : Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração, 2006. 132 p., (Série Geologia e Mineração, n. 1)

ALVES, M.T. e CASTRO S.S.de. Vulnerabilidade e impactos ambientais na área de recarga do aquífero Guarani no Estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 29 n.1 p. 135-150, 2009.

ANDERSON G. M. **Thermodynamics of Natural Systems.** Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2005.

ARVOR, D., JONATHAN, M., MEIRELLES, M.S.P., DUBREUIL, V., DURIEUX, L. In press. Classification of MODIS EVI time series for crop mapping in the state of Mato Grosso, Brazil. **Int. J. Remote Sens.**, doi: 10.1080/01431161.2010.531783, 2011.

AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND ENVIRONMENT AND CONSERVATION COUNCIL-ANZECC. **State of Environment Reporting Task Force. Core Environmental Indicators for Reporting the State of Environment.** Canberra: ANZECC, 2000.

BAKKES, J.A.; VAN DER BORN, G.J.; HELDER, J.C.; SWART, R.J.; HOPE, C.W.; PARKER, J.D.E. **An overview of environmental indicators: state of the art and perspectives.** Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP)/Dutch National

Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), 1994.
(UNEP/Environmental Assessment Technical Reports, 94-01; RIVM/402001001).

BANZHAF, S.; BOYD, J. **Index and Indicators for Ecosystem Services**. Washington, DC: Resources for the Future, 2004.

BARBALHO, M.G.; CAMPOS, A.B.de. Vulnerabilidade natural das águas e solos do Estado de Goiás a contaminação por vinhaça utilizados na fertirrigação da cultura de cana-de-açúcar. **Boletim Goiano de Geografia**, v 30, n.1,p 155-170, jan/jun. 2010.

BATEMAN, T. S.; SNELLI, S. A. **Administração: construindo vantagem competitiva**. São Paulo: Atlas, 1998.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS; ABRH, 2007. p. 177-241.

BOULDING K. E. The Economics of the Coming Spaceship Earth. **Environmental Quality in a Growing Economy**, pp. 3-14. 1966.

BRASIL. CONAMA. Resolução 369 de 3 de abril de 2008.. *Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências*. **DOU**, n. 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.

BRASIL. MAPA. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 160 p.. Disponível em: < http://www.agricultura.gov.br/images/MAPA/arquivos_portal/anuario_cana.pdf > Acesso em: 08 de ago.2010

BRASIL. MAPA. **Relação das Unidades Produtoras Cadastradas no Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia. Posição 12/07/2010**. Brasília : Mapa/ACS, 2010. 160 p. Disponível em: < http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/SERVICOS/USINAS_DESTILARIAS/USINAS_CADASTRADAS/UPS_12-07-2010_0.PDF> Acesso em: 08 de ago. 2010

BRASIL/MAPA. **Política nacional de agroenergia**. Brasília, 2006. Brasília, MAPA, 2006.

CÂMARA G.; MONTEIRO A. M.V.; MEDEIROS J.S. **Representações computacionais do espaço: Fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação**. Rio Claro, SP: UNESP, 2000. Workshop sobre Novas tecnologias em Ciências Geográficas.

CARVALHO, E. P. Formulação de uma estratégia para garantir o aumento da produção. In: **SEMINÁRIO "UMA ESTRATÉGIA PARA O ETANOL BRASILEIRO"**. Rio de Janeiro: Casa do Brasil, 2006.

CASTRO, S.S.; ABDALA K.; SILVA, R.A.A.; BORGES V. A Expansão da Cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: Elementos para uma Análise Espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**, v 30,n.1,p 171-190, jan/jun. 2010.

CASTRO, S.S.; BORGES, R.O.; SILVA, R.A.A.; BARBALHO, M.G.S. Estudo da expansão da cana de açúcar no estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: FORUM DE C&T NO CERRADO, 2., 2007. **Impactos econômicos, sociais e ambientais no cultivo da cana de açúcar no território goiano**. Goiânia, 2007. v. único. p. 09-17.

CECHIM A. D. e VEIGA J. E. da,. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. *Revista de Economia Política*, v. 30, n. 3, p. 438-454, jul./set., 2010.

CLARKE, R.T. e TUCCI, C.E.M. Regionalização Hidrológica. In: PAIVA, J.B.D. de e PAIVA, E.M.C.D. de (Orgs), **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. p. 169-222.

COBB, C.W.; RIXFORD, C. **Lessons learned from the history of social indicators**. São Francisco: Redefining Progress, 1998.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Perfil do Setor de Açúcar e Alcool no Brasil**, Brasília: CONAB. Disponível em:< www.conab.gov.br>. Acesso em: 12 de maio 2010.

CONSTANZA, R. (Org.). **Ecological economics: the science and management of sustainability**. New York: Columbia University Press, 1991.

CONYERS, D.; HILLS, P.. **An introduction to development planning in the third world**. New York: John Wiley & Sons, 1984. (Public Administration in Developing Countries).

CPRM – Companhia de Pesquisa de recursos Minerais.. **Hidrogeologia Conceitos e Aplicações** 2. ed. Fortaleza: Fernando A C Feitosa, João Manuel Filho (coord.), 2000. 391 p.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais; Fundação Biodiversitas.. **Projeto APA - Carste de Lagoa Santa: Meio Físico; Biótico; Patrimônio Espeleológico; Histórico**

e Cultural: Zoneamento Ambiental; Sócio-Econômica e Gestão Ambiental. Belo Horizonte: MMA/IBAMA-MME/CPRM, 1998. 6 v.

CSIR, MZURI CONSULTANTS, HSRC. **National Core Set of Environmental Indicators for State of Environment Reporting in South Africa.** Pretoria: DEAT, 2001.

DALY, H. **Ecological economics and the ecology of economics.** New York: Edward Elgar, 1999.

DALY, H; FARLEY, J. **Ecological economics. principles and applications.** Washington, EUA: Island Press, 2004. 454p.

DALY, H. **Beyond growth.** Boston, EUA: Beacon Press, 1996. 253p.

BRASIL. Decreto: n. 6961 de 17 de Setembro de 2009. Presidente da República Casa Civil. Subchefia Para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6961.htm>. Acesso em: 25 jun de 2010

DRUCKER, Peter F. **Introdução à administração.** São Paulo: Pioneira, 1977.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapeamento de cobertura vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados.** Edson Eyji Sano (Org) Planaltina DF: Embrapa Cerrados, 2007. (Documentos/ Embrapa Cerrados, ISSN 1517 - 5111; 190).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar.** Celso Vainer Manzatto (Org.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 110).

EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília, DF: SPI/EMBRAPA, 1999. 412 p.

EPE. **Cadernos de energia EPE. Perspectivas para o etanol no brasil.** Brasília, DF: EPE-DPG-RE-01. 2008. 62p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/Estudos_28/Cadernos de Energia - Perspectiva para o etanol no Brasil.pdf> Acesso em 06 de ago. 2010

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY-EEA. **Europe's water: An indicator-based assessment summary.** Copenhagen: Office for Official Publications of the European Communities, 2003.

EVANGELISTA B. A. **Projeção de cenários atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambiente de Cerrado.** 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - UNICAMP. Campinas, SP, 2011.

FEITOSA, F. **Hidrogeologia Básica: conceitos e aplicações.** 2.ed. Rio de Janeiro: CPRM, 1997. 270p.

FERNANDEZ, B. P. M. **Ecodesenvolvimento, Desenvolvimento Sustentável e Economia Ecológica: em que sentido representam alternativas ao paradigma de desenvolvimento tradicional?** Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 23, p. 109-120, jan./jun. 2011. Editora UFPR

FERREIRA, A.C. **Modelo de Avaliação da economia Hídrica de Reservatórios.** 2007. Dissertação (Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, 2007. 324 p.

FERREIRA, C.E.G.; PRADO, R. B., BENITES, V. M., POLIDORO, J. C, NAUMOV, A. Classificação semi-automática de imagens multitemporais Landsat-5 para análise do padrão de uso agrícola das terras do Sudoeste Goiano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., Natal, Brasil, 2009. **Anais...** INPE, p. 5781-5788.

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnósticos de planejamentos ambientais.** 2003. Tese (Doutorado em planejamento e desenvolvimento rural e sustentável) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FISCHMANN, A. A., ALMEIDA, M. I. R Curso de gestão estratégica e balanced scorecard. São Paulo: Consist, 2007. **Apostila de Planejamento estratégico na prática.** 2.ed. São Paulo: Atlas, 1990.

FRIEND A.; RAPPORT, D. T.. **A comprehensive framework for environmental statistics: a stress- response approach.** Ottawa: Statistics Canada, 1979.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M. C. Avaliação da vulnerabilidade natural dos solos em áreas agrícolas: subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos. **Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 12, p. 169-179, Curitiba, jan. 2002.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on**

environmental policy performance in the context of sustainable development. World Resources Institute, 1995.

HART, M. **Guide to sustainable community indicators.** West Hartford: Hart Environmental Data, 1999.

HAUWERMEIREN, S. V. **Manual de economia ecológica.** Santiago: Rosa Moreno, 1998.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: IBGE, 1992. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 1).

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola. pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Abril de 2010.** Rio de Janeiro: IBGE. Abr. 2010. Disponível em: < ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/lspa_201004.zip > Acesso em: 06 de ago.2010.

INFOSUCRO. **Séries Históricas. Produção de álcool no Brasil por estado de 1990/91 a 2007/08.** Rio de Janeiro: IE/UFRJ. 2007b. Disponível em: < http://www.ie.ufrj.br/infosucro/estatisticas/producao/producaoetanol.xlshttp://www.ie.ufrj.br/infosucro/boletim/BoletimInfoSucroN0003.pdf > Acesso em: 23 de jul. 2010.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto CANASAT - Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra.** Bernardo Friedrich Theodor Rudorff (Coordenador). Disponível em: <www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html>. Acesso em: 10 de mar. 2010

JANNUZZI, P.M. **Indicadores sociais no Brasil:** conceitos, fontes de dados e aplicações. Campinas: Alínea, 2001.

JOBBÁGY EG AND JACKSON RB Groundwater use and salinization with grassland afforestation. **Global Change Biology**, v. 10, n.8, p. 1299-1312, 2004.

JOBBÁGY, E., PARUELO, J., FERNÁNDEZ, R., OESTERHELD, M., COUTINHO, H., MEIRELLES, M., ALTESOR, A, PANARIO, D., PIÑEIRO, D., CORONEL, G., DI BELLA, C., VIGLIZZO, E., SCHLICHTER, T., MACEIRA, J., PODESTÁ, G., HOFFMANN, W., JACKSON, R., EPSTEIN, H.. **“Land use change in the Rio de la Plata Basin: linking biophysical and human factors to understand trends, assess impacts, and support viable strategies for the future”**. Research proposal, 2nd Round of the IAI Collaborative Research Network (CRN II), Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) 2005.

JONATHAN, M. **Classificação do uso e cobertura do solo em escala regional a partir de seqüências temporais de dados MODIS**. 2005. 158 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação) Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.

LATRUBESSE, E. M. **Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás: relatório final**. Goiânia: SIC/SGM/FUNMINERAL, 2005. 85p.

LIMA J. E. F. W.; SILVA E. M. da; SILVA F. A. M. da; SANO E. E. Variabilidade espaço-temporal da vazão específica média do Estado de Goiás. Simpósio Internacional de Savanas Tropicais, 2. – Simpósio Nacional do Cerrado, 9. **Anais...** do Brasília, DF, 2008.

MAGALHÃES Jr, A.P.; NETTO, O.M.C.; NASCIMENTO, N.O. “Os indicadores como instrumentos potenciais de gestão das águas no atual contexto legal-institucional do Brasil – resultados de um painel de especialistas”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 49-67, 2003.

MARANHÃO N. **Sistema de Indicadores para Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas**. 2009. 397 p. Tese (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2007.

MARTINS S. R. Formação de coordenadores e multiplicadores socioambientais. PPGA/UFPel, 2004. Texto base para os Núcleos de Educação Ambiental da Agenda 21 de Pelotas.

MCMMASTER, R.; SHEA, S. **Generalization in Digital Cartography**. Washington, DC: American Association of Geographers, 1992.

MEDEIROS, J. S. DE; CÂMARA, G. Curso **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/>. Acesso em: 12 nov. 2012.

MEYER, W. B., TURNER, B. L. **Changes in land use and land cover: a global perspective**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994.

MMA- Ministério do Meio Ambiente. PROBIO. **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>> Acesso em: 24 de jun.2008

MONTIBELLER-FILHO, G. **O mito do desenvolvimento sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

NASSAR, A.M.; RUDORFF, L.B.A.; AGUIAR, D.A.; BACCHI, M.R.P.; ADAMI, M. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In ZUURBIER, P. and VOOREN, J.V. (Edit) **Sugarcane Ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment**. 1st Ed. Wageningen: Wageningen Publs., 2008. 63-94 p.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Ecological Indicators for the Nation**. Washington, DC: National Research Council, 2003.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), ed. Paris : **Environmental indicators**, 1994.

_____. **Towards sustainable development: environmental indicators**. Paris, 1998.

_____. **“Estatística da OECD”** Disponível em < www.oecd.org>. Acesso em: 02 de nov. 2003.

PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Síntese Executiva - português**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2006.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

RAMOS, M.L.S.; PAIXÃO, M.M.O.M. **Disponibilidade hídrica de águas subterrâneas - Produtividade de poços e reservas exploráveis dos principais sistemas aquíferos**. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), 2003.

REIS, J. A. T; GUIMARÃES M. A.; BARRETO NETO, A. A. BRINGHENTI, J. (2008). Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Itapoana. **Geociências (São Paulo)** [online]. 2008, v.. 27, n. 4, pp. 509-516. ISSN 0101-9082.

ONU.Report of the United Nations Conference on Environment and Development, 1992. (Rio de Janeiro, 3–14 June 1992) A/CONF.151/26, vol. I–III, Disponível em: < <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm>>. Acesso em: 5 de set. 2009

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4: p 1057-1076. 2010. doi: <10.3390/rs2041057>.

SALA, O. E., AND J. M. PARUELO. 1997. **Ecosystem services in grasslands**. Pages 237-252 in G. C. Daily, editor. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C.

SANTOS J.S.dos; AGUIAR D. A. de; ADAMI M.; RUDORFF, B.F.T. Identificação da dinâmica do uso e cobertura da terra: expansão da cultura da cana-de-açúcar. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., , PR, 2011. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. 6610 p.

SEGNESTAM, L. **Indicators of Environment and Sustainable Development** - Theories and practical experience. Washington, The World Bank, 2002.

SILVA F. A. M. da; MÜLLER A. G.; LIMA J. E. F. W.; SILVA E. M. da; MARIN F.; LOPES T. S. de S. Avaliação da oferta e demanda hídrica para o cultivo da cana-de-açúcar no Estado de Goiás. Simpósio Internacional de Savanas Tropicais, 2. – Simpósio Nacional do Cerrado, 9. **Anais...** Brasília, DF, 2008.

SILVA, S. C. Da; SANTANA, N.M.P.de; PELEGRINI, J.C. **Caracterização Climática do Estado de Goiás. Federal**. Goiás: Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração, 2006. 133 p. (Série Geologia e Mineração, n. 3)

SMEETS, E.; WETERINGS, R.. **Environmental indicators: typology and overview**. Copenhagen: European Environment Agency, 1999. (Technical report, 25).

SOUSA, H. T.; PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; CECOM, P. R.; SOUZA, J. R. C. **SisCAH 1.0: Sistema computacional para análises hidrológicas**. Brasília: Agência Nacional de Águas, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 60p.

SUGAWARA, L.M.; RUDORFF, B.F.T. **Acompanhamento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar por meio de séries temporais de NDVI do sensor Modis**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011.

TAYLOR, B. **Strategies for planning. Long Range Planning**, Elmsford, p.27-40, Aug. 1975. The Edinburgh Building, Cambridge, UK (1995). 657pg

THORNTHWAITE C.W.; MATHER J.R. **The Water Balance**. New Jersey: New Jersey Drexel Institute of Tecnology, 1995. 104 p. (Publications in Climatology)

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. 1ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2002.

TUCCI, C.E.M. (Organizador). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre, RS: Editora da Universidade (UFRGS)/ Edusp/ABRH, 2001. 943p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Conceptual framework to support development and use of environmental information in decision-making**. Washington, DC, 1995. (EPA-239-R-95-012).

VITOUSEK P.M.; MOONEY H.A.; LUBCHENCO J. AND MELILLO J.M. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, v. 277, p. 494-499, 1997.

WINOGRAD, Manuel. **Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para la toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe**. Cali, 1995. Disponível em: <<http://www.ciat.cgiar.org/indicators/unepci/paper.htm>>. Acesso em: 29 de jul. 2009.

ANEXO A - Descrição dos indicadores do Módulo A e B da Parte 1 – Nível Estratégico

PARTE 1 – NÍVEL ESTRATÉGICO

MODULO A- INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA

INDICADORES

Pos/nº	Cod	Nome	Fórmula	Categoria
ID01	IAFC _T	Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira	$IAFC_T = S_{FT}/S_{UTA}$	Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canavieira
ID02	IAFC _S	Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro	$IAFC_S = S_{FS}/S_{UTA}$	
ID03	IAFC _I	Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória	$IAFC_I = S_{IC}/S_{UTA}$	
ID04	ICDH _{GI}	Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Geral em Sistema de Irrigação	$ICDH_{GI} = DeH_I/DiH_G$	Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canavieira - Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canavieira
ID05	IADH _{GI}	Índice de Atendimento da Demanda Hídrica Geral em Sistema de Irrigação	$IADH_{GI} = S_{MA-GI}/S_{IC}$	
ID06	ICDH _{GS}	Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Geral em Sistema de Sequeiro	$ICDH_{GS} = DeH_S/DiH_G$	
ID07	IADH _{GS}	Índice de Atendimento da Demanda Hídrica Geral em Sistema de Sequeiro	$IADH_{GS} = S_{MA-GS}/S_{FS}$	
ID08	IVCH	Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos	$IVCH = S_{VP}/S_{UTA}$	Indicadores da vulnerabilidade dos mananciais hídricos e da susceptibilidade da produção hídrica da bacia

MODULO B – INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE EXPANSÃO DA ATIVIDADE CANAVIEIRA

INDICADORES

Pos/nº	Cod	Nome	Formula	Categoria
ID01	IOCC	Índice de Ocupação da Cultura Canavieira	$IOCC = S_{AC}/S_{UTA}$	Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira
ID02	IECC	Índice de Expansão da Cultura Canavieira	$IECC = (S_{AC}-S_{PC}) / S_{UTA}$	
ID03	ISAA	Índice de Substituição de Áreas Agrícolas	$ISAA = (S_{SAC}-S_{SCA}) / (S_{EC}+S_{RC})$	Indicadores de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa
ID04	ISAP	Índice de Substituição de Áreas com Pastagens	$ISAP = (S_{SPC}-S_{SCP}) / (S_{EC}+S_{RC})$	
ID05	ISVN	Índice de Supressão de Vegetação Nativa	$ISVN = S_{SV}/S_{EC}$	
ID06	IEAC	Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira	$IEAC = S_{EAC} / S_{EC}$	Indicadores da adequabilidade do processo de expansão da cultura canavieira
ID07	IESC _S	Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro	$IESC_S = S_{OC} / S_{MES}$	Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira
ID08	IESC _I	Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação	$IESC_I = S_{OC} / S_{MES}$	

ANEXO B - Descrição dos indicadores do Módulo A e C da Parte 2 – Nível Tático

PARTE 2 – NÍVEL TÁTICO				
MODULO A- INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE CANAVIEIRA				
INDICADORES				
Pos/n°	Cod	Nome	Formula	Categoria
ID01	IABH	Índice de Antropização da Bacia Hidrográfica	$IABH = S_{AP}/S_{UTA} \rightarrow S_{AP} = 2\bar{\mu}$	Indicadores do estágio de desenvolvimento socioeconômico e antropização das bacias hidrográficas
ID02	IVNR	Índice de Vegetação Natural Remanescente	$IRVN = S_{VR} / S_{UTA}$	
ID03	IRHT	Índice de Retirada Hídrica Total	$IRHT = Q_{\Sigma ret} - Q_{mlt}$	
ID04	IDHA	Índice de Disponibilidade Hídrica Alocável	$IDHA = [Q_{95} - (\Sigma Qc + Q_{rem})] / Q_{95}$	Indicadores da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento da atividade canavieira
ID05	ICRH	Índice de Capacidade de Regularização Hídrica	$ICRH = (Q_{mlt} - Q_{95}) / Q_{mlt}$	
ID06	IDHE	Índice de Disponibilidade Hídrica Explotável	$IDHE = Q_{RHE} - \Sigma Q_{exp} / Q_{RHE}$	
ID07	IVCH	Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos	$IVCH = S_{VP}/S_{UTA}$	Indicadores da vulnerabilidade dos mananciais hídricos e da susceptibilidade da produção hídrica da bacia
ID08	IALE	Índice de Área Limite de Expansão sustentável	$IALE = S_{LES} / S_{UTA}$	
MODULO C – INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE EXPANSÃO DA ATIVIDADE CANAVIEIRA				
INDICADORES				
Pos/n°	Cod	Nome	Formula	Categoria
ID01	IOCC	Índice de Ocupação da Cultura Canavieira	$IOCC = S_{AC}/S_{UTA}$	Indicadores de ocupação e intensidade do processo de expansão da cultura canavieira
ID02	IECC	Índice de Expansão da Cultura Canavieira	$IECC = (S_{AC}-S_{PC}) / S_{UTA}$	
ID03	ISAA	Índice de Substituição de Áreas Agrícolas	$ISAA = (S_{SAC}-S_{SCA}) / (S_{EC}+S_{RC})$	Indicadores de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa
ID04	ISAP	Índice de Substituição de Áreas com Pastagens	$ISAP = (S_{SPC}-S_{SCP}) / (S_{EC}+S_{RC})$	
ID05	ISVN	Índice de Supressão de Vegetação Nativa	$ISVN = S_{SV}/S_{EC}$	Indicadores do limiar de insustentabilidade do processo de expansão da cultura canavieira
ID06	IESC _s	Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro	$IESC_s = S_{OC} / S_{MES}$	
ID07	IESC _i	Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação	$IESC_i = S_{OC} / S_{MES}$	
ID08	IESU*	Índice de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira	$IESU = S_{OC} / S_{LES}$	
	IEAC	Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira	$IEAC = S_{EAC} / S_{EC}$	
*obs: pode ser substituído pelo IEAC				

ANEXO C - Descrição dos indicadores do Módulo B, Bloco 1 e 2 da Parte 2 – Nível Tático

PARTE 2 – NÍVEL TÁTICO

MODULO B - INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA

BLOCO 1 Sistema de Irrigação Compulsória

INDICADORES

Pos/nº	Cod	Nome	Formula	Categoria
ID01	IAFC _T	Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canaveira	$IAFC_T = S_{FT}/S_{UTA}$	Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canaveira
ID02	IAFC ₁	Índice de Área Favorável para a Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação Compulsória	$IAFC_1 = S_{IC}/S_{UTA}$	
ID03	ICDH _{AI}	Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Alocável/SI	$ICDH_{AI} = DeH_I / DiH_A$	Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canaveira - Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canaveira
ID04	IADH _{AI}	Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – A/SI	$IADH_{AI} = S_{MA-AI} / S_{IC}$	
ID05	ICDH _{RI}	Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Regularisável/SI	$ICDH_{RI} = DeH_I / DiH_R$	
ID06	IADH _{RI}	Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – R/SI	$IADH_{RI} = S_{MA-RI} / S_{IC}$	
ID07	ICDH _{EI}	Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Explotável/SI	$ICDH_{EI} = DeH_I / DiH_E$	
ID08	IADH _{EI}	Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – E/SI	$IADH_{EI} = S_{MA-EI} / S_{IC}$	

BLOCO2 Sistema de Sequeiro

INDICADORES

Pos/nº	Cod	Nome	Formula	Categoria
ID01	IAFC _T	Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canaveira	$IAFC_T = S_{FT}/S_{UTA}$	Indicadores da favorabilidade edafoclimática para a cultura canaveira
ID02	IAFC _S	Índice de Área Favorável para a Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro	$IAFC_S = S_{FS}/S_{UTA}$	
ID03	ICDH _{AS}	Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Alocável/SS	$ICDH_{AS} = DeHS / DiH_A$	Indicadores do grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda hídrica da atividade canaveira - Indicadores do potencial de atendimento da demanda hídrica da atividade canaveira
ID04	IADH _{AS}	Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – A/SS	$IADH_{AS} = S_{MA-AS} / S_{FC}$	
ID05	ICDH _{RS}	Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Regularisável/SS	$ICDH_{RS} = DeHS / DiH_R$	
ID06	IADH _{RS}	Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – R/SS	$IADH_{RS} = S_{MA-RS} / S_{FC}$	
ID07	ICDH _{ES}	Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica Explotável/SS	$ICDH_{ES} = DeHS / DiH_E$	
ID08	IADH _{ES}	Índice de Atendimento da Demanda Hídrica – E/SS	$IADH_{ES} = S_{MA-ES} / S_{FC}$	

ANEXO D – Lista dos indicadores para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica para as microrregiões Meia Ponte e Quirinópolis

MODULO A- INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA											
Microrregião	Codigo IBGE	nº	UTA Município	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	ICDH _{GI}	IADH _{GI}	ICDH _{GS}	IADH _{GS}	IVCH
Meia Ponte	5200209	1	Água Limpa	0,36	0,00	0,36	0,20	1,00	0,00	NA	0,55
Meia Ponte	5200506	2	Alôândia	0,39	0,00	0,39	0,21	1,00	0,00	NA	0,65
Meia Ponte	5203500	3	Bom Jesus de Goiás	0,91	0,00	0,91	0,48	1,00	0,00	NA	0,64
Meia Ponte	5203906	4	Buriti Alegre	0,20	0,00	0,20	0,12	1,00	0,00	NA	0,55
Meia Ponte	5204250	5	Cachoeira Dourada	0,79	0,00	0,79	0,43	1,00	0,00	NA	0,62
Meia Ponte	5204508	6	Caldas Novas	0,52	0,00	0,52	0,27	1,00	0,00	NA	0,42
Meia Ponte	5206503	7	Cromínia	0,35	0,00	0,35	0,17	1,00	0,00	NA	0,37
Meia Ponte	5209101	8	Goiatuba	0,83	0,00	0,83	0,46	1,00	0,00	NA	0,65
Meia Ponte	5209937	9	Inaciolândia	0,86	0,00	0,86	0,44	1,00	0,00	NA	0,61
Meia Ponte	5211503	10	Itumbiara	0,77	0,00	0,77	0,44	1,00	0,00	NA	0,62
Meia Ponte	5212105	11	Joviânia	0,69	0,00	0,69	0,41	1,00	0,00	NA	0,63
Meia Ponte	5212600	12	Mairipotaba	0,45	0,00	0,45	0,26	1,00	0,00	NA	0,53
Meia Ponte	5212907	13	Marzagão	0,30	0,00	0,30	0,16	1,00	0,00	NA	0,36
Meia Ponte	5213806	14	Morrinhos	0,51	0,00	0,51	0,27	1,00	0,00	NA	0,55
Meia Ponte	5216007	15	Panamá	0,73	0,00	0,73	0,42	1,00	0,00	NA	0,63
Meia Ponte	5217104	16	Piracanjuba	0,78	0,00	0,78	0,36	1,00	0,00	NA	0,60
Meia Ponte	5217708	17	Pontalina	0,44	0,00	0,44	0,28	1,00	0,00	NA	0,61
Meia Ponte	5218052	18	Porteirão	0,81	0,00	0,81	0,58	1,00	0,00	NA	0,65
Meia Ponte	5218391	19	Professor Jamil	0,24	0,00	0,24	0,11	1,00	0,00	NA	0,44
Meia Ponte	5218789	20	Rio Quente	0,43	0,00	0,43	0,24	1,00	0,00	NA	0,26
Meia Ponte	5222054	21	Vicentinópolis	0,79	0,00	0,79	0,60	1,00	0,00	NA	0,66
Totais				0,65	0,00	0,65	0,35	1,00	0,00	NA	0,58
Microrregião	Codigo IBGE	nº	UTA Município	IAFC _T	IAFC _S	IAFC _I	ICDH _{GI}	IADH _{GI}	ICDH _{GS}	IADH _{GS}	IVCH
Quirinópolis	5204102	1	Cachoeira Alta	0,69	0,00	0,69	0,32	1,00	0,00	NA	0,58
Quirinópolis	5204300	2	Caçu	0,70	0,00	0,69	0,31	1,00	0,00	NA	0,65
Quirinópolis	5209150	3	Gouvelândia	0,80	0,00	0,80	0,43	1,00	0,00	NA	0,57
Quirinópolis	5210802	4	Itajá	0,68	0,39	0,29	0,12	1,00	0,06	1,00	0,60
Quirinópolis	5211305	5	Itarumã	0,68	0,26	0,43	0,18	1,00	0,04	1,00	0,64
Quirinópolis	5212253	6	Lagoa Santa	0,85	0,66	0,20	0,08	1,00	0,10	1,00	0,63
Quirinópolis	5216304	7	Paranaiguara	0,64	0,00	0,64	0,35	1,00	0,00	NA	0,56
Quirinópolis	5218508	8	Quirinópolis	0,76	0,00	0,76	0,41	1,00	0,00	NA	0,61
Quirinópolis	5220405	9	São Simão	0,65	0,00	0,65	0,33	1,00	0,00	NA	0,59
Totais				0,69	0,12	0,57	0,27	1,00	0,02	1,00	0,61

Nota: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S - Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAFC_I - Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; (iv) ICDH - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (GI- irrigação/GS sequeiro); IADH - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica (GI- irrigação/GS sequeiro); IVCH - Índice de Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos

ANEXO E – Lista dos indicadores para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica para as microrregiões Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois

MODULO A- INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA											
Microrregião	Codigo IBGE	nº	UTA Município	IAFC_T	IAFC_S	IAFC_I	ICDH_{GI}	IADH_{GI}	ICDH_{GS}	IADH_{GS}	IVCH
Sudoeste de Goiás	5201454	1	Aparecida do Rio Doce	0,80	0,00	0,79	0,33	1,00	0,00	1,00	0,66
Sudoeste de Goiás	5201504	2	Aporé	0,73	0,73	0,00	0,00	NA	0,10	1,00	0,65
Sudoeste de Goiás	5204409	3	Caiaipônia	0,34	0,00	0,34	0,13	1,00	0,00	NA	0,46
Sudoeste de Goiás	5205059	4	Castelândia	0,85	0,00	0,85	0,44	1,00	0,00	NA	0,64
Sudoeste de Goiás	5205471	5	Chapadão do Céu	0,69	0,69	0,00	0,00	NA	0,09	1,00	0,55
Sudoeste de Goiás	5207253	6	Doverlândia	0,43	0,00	0,43	0,17	1,00	0,00	NA	0,61
Sudoeste de Goiás	5211909	7	Jataí	0,66	0,04	0,62	0,25	1,00	0,01	1,00	0,67
Sudoeste de Goiás	5213004	8	Maurilândia	0,89	0,00	0,89	0,41	1,00	0,00	NA	0,64
Sudoeste de Goiás	5213103	9	Mineiros	0,41	0,10	0,31	0,12	1,00	0,01	1,00	0,66
Sudoeste de Goiás	5213756	10	Montividiu	0,77	0,00	0,77	0,30	1,00	0,00	NA	0,63
Sudoeste de Goiás	5215652	11	Palestina de Goiás	0,51	0,00	0,51	0,20	1,00	0,00	NA	0,48
Sudoeste de Goiás	5216452	12	Perolândia	0,66	0,00	0,66	0,28	1,00	0,00	NA	0,61
Sudoeste de Goiás	5218102	13	Portelândia	0,47	0,00	0,47	0,19	1,00	0,00	NA	0,56
Sudoeste de Goiás	5218805	14	Rio Verde	0,72	0,00	0,72	0,29	1,00	0,00	NA	0,61
Sudoeste de Goiás	5219308	15	Santa Helena de Goiás	0,88	0,00	0,88	0,38	1,00	0,00	NA	0,66
Sudoeste de Goiás	5219407	16	Santa Rita do Araguaia	0,51	0,00	0,51	0,18	1,00	0,00	1,00	0,52
Sudoeste de Goiás	5219712	17	Santo Antônio da Barra	0,65	0,00	0,65	0,29	1,00	0,00	NA	0,66
Sudoeste de Goiás	5220504	18	Serranópolis	0,61	0,57	0,04	0,01	1,00	0,08	1,00	0,79
Totais				0,57	0,14	0,43	0,17	1,00	0,02	1,00	0,62
Microrregião	Codigo IBGE	nº	UTA Município	IAFC_T	IAFC_S	IAFC_I	ICDH_{GI}	IADH_{GI}	ICDH_{GS}	IADH_{GS}	IVCH
Vale do Rio do Bois	5200134	1	Acreúna	0,67	0,00	0,67	0,46	1,00	0,00	NA	0,66
Vale do Rio do Bois	5204607	2	Campestre de Goiás	0,32	0,00	0,32	0,24	1,00	0,00	NA	0,62
Vale do Rio do Bois	5205455	3	Cezarina	0,52	0,00	0,52	0,41	1,00	0,00	NA	0,30
Vale do Rio do Bois	5207352	4	Edealina	0,64	0,00	0,64	0,51	1,00	0,00	NA	0,44
Vale do Rio do Bois	5207402	5	Edéia	0,71	0,00	0,71	0,58	1,00	0,00	NA	0,52
Vale do Rio do Bois	5209952	6	Indiara	0,72	0,00	0,72	0,58	1,00	0,00	NA	0,52
Vale do Rio do Bois	5211701	7	Jandaia	0,62	0,00	0,62	0,50	1,00	0,00	NA	0,43
Vale do Rio do Bois	5215702	8	Palmeiras de Goiás	0,74	0,00	0,74	0,59	1,00	0,00	NA	0,53
Vale do Rio do Bois	5215900	9	Palminópolis	0,82	0,00	0,82	0,66	1,00	0,00	NA	0,57
Vale do Rio do Bois	5216403	10	Paraúna	0,71	0,00	0,71	0,35	1,00	0,00	NA	0,44
Vale do Rio do Bois	5220058	11	São João da Paraúna	0,76	0,00	0,76	0,51	1,00	0,00	NA	0,57
Vale do Rio do Bois	5221551	12	Turvelândia	0,81	0,00	0,81	0,52	1,00	0,00	NA	0,67
Vale do Rio do Bois	5221908	13	Varjão	0,21	0,00	0,21	0,14	1,00	0,00	NA	0,45
Totais				0,68	0,00	0,68	0,44	1,00	0,00	NA	0,51

Nota: (i) IAFC_T - Índice de Área Total Favorável para a Cultura Canavieira; (ii) IAFC_S - Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAFC_I - Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória; (iv) ICDH - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (GI- irrigação/GS sequeiro); IADH - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica (GI- irrigação/GS sequeiro); IVCH - Índice de Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos

ANEXO F – Lista dos indicadores para a avaliação do processo de expansão da atividade canavieira nas microrregiões Meia Ponte e Quirinópolis

MODULO B- INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE EXPANSÃO DA ATIVIDADE CANAVIEIRA											
Microrregião	Código IBGE	nº	UTA Município	IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC _s	IESC _i
Meia Ponte	5200209	1	Água Limpa	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Meia Ponte	5200506	2	Aloândia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Meia Ponte	5203500	3	Bom Jesus de Goiás	0,13	0,11	0,79	0,19	0,02	0,98	NA	0,15
Meia Ponte	5203906	4	Buriti Alegre	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,98	NA	0,01
Meia Ponte	5204250	5	Cachoeira Dourada	0,12	0,12	0,59	0,36	0,05	0,94	NA	0,15
Meia Ponte	5204508	6	Caldas Novas	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Meia Ponte	5206503	7	Cromínia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Meia Ponte	5209101	8	Goiatuba	0,14	0,07	0,82	0,17	0,01	0,96	NA	0,17
Meia Ponte	5209937	9	Inaciolândia	0,13	0,13	0,64	0,36	0,01	0,98	NA	0,15
Meia Ponte	5211503	10	Itumbiara	0,14	0,12	0,66	0,33	0,01	0,96	NA	0,19
Meia Ponte	5212105	11	Joviânia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Meia Ponte	5212600	12	Mairipotaba	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Meia Ponte	5212907	13	Marzagão	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Meia Ponte	5213806	14	Morrinhos	0,03	0,03	0,93	0,07	0,00	0,99	NA	0,06
Meia Ponte	5216007	15	Panamá	0,06	0,05	0,63	0,34	0,03	0,91	NA	0,09
Meia Ponte	5217104	16	Piracanjuba	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Meia Ponte	5217708	17	Pontalina	0,01	0,01	0,80	0,19	0,01	0,95	NA	0,02
Meia Ponte	5218052	18	Porteirão	0,39	0,27	0,56	0,43	0,01	0,97	NA	0,48
Meia Ponte	5218391	19	Professor Jamil	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Meia Ponte	5218789	20	Rio Quente	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Meia Ponte	5222054	21	Vicentinópolis	0,13	0,13	0,52	0,46	0,02	0,97	NA	0,16
Totais				0,07	0,05	0,69	0,29	0,01	0,97	NA	0,11
Microrregião	Código IBGE	nº	UTA Município	IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC _s	IESC _i
Quirinópolis	5204102	1	Cachoeira Alta	0,02	0,02	0,00	0,96	0,04	0,92	NA	0,03
Quirinópolis	5204300	2	Caçu	0,06	0,06	0,00	0,98	0,02	0,80	0,00	0,08
Quirinópolis	5209150	3	Gouvelândia	0,24	0,24	0,57	0,42	0,01	0,95	NA	0,30
Quirinópolis	5210802	4	Itajá	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	0,00	0,00
Quirinópolis	5211305	5	Itarumã	0,02	0,02	0,07	0,89	0,04	0,85	0,05	0,02
Quirinópolis	5212253	6	Lagoa Santa	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	0,00	0,00
Quirinópolis	5216304	7	Paranaiguara	0,11	0,11	0,03	0,95	0,02	0,86	NA	0,17
Quirinópolis	5218508	8	Quirinópolis	0,12	0,12	0,46	0,53	0,01	0,90	NA	0,15
Quirinópolis	5220405	9	São Simão	0,08	0,08	0,47	0,52	0,00	0,82	NA	0,13
Totais				0,06	0,06	0,33	0,66	0,01	0,89	0,52	0,11

Nota: (i) IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA - Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP - Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN - Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC - Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira; (vii) IESC_s - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira; (viii) IESU - Índice de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira

ANEXO G – Lista dos indicadores para a avaliação do processo de expansão da atividade canavieira nas microrregiões Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois

MODULO B- INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE EXPANSÃO DA ATIVIDADE CANAVIEIRA											
Microrregião	Código IBGE	nº	UTA Município	IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC_s	IESC_t
Sudoeste de Goiás	5201454	1	Aparecida do Rio Doce	0,01	0,01	0,00	1,00	0,00	0,93	0,00	0,01
Sudoeste de Goiás	5201504	2	Aporé	0,01	0,01	0,31	0,64	0,05	0,94	0,02	NA
Sudoeste de Goiás	5204409	3	Caiapônia	0,00	0,00	0,77	0,10	0,14	0,21	NA	0,00
Sudoeste de Goiás	5205059	4	Castelândia	0,16	0,09	0,70	0,28	0,02	1,00	NA	0,19
Sudoeste de Goiás	5205471	5	Chapadão do Céu	0,06	0,06	0,96	0,00	0,04	0,83	0,09	NA
Sudoeste de Goiás	5207253	6	Doverlândia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Sudoeste de Goiás	5211909	7	Jataí	0,02	0,02	0,73	0,23	0,04	0,85	0,00	0,03
Sudoeste de Goiás	5213004	8	Maurilândia	0,42	0,12	0,73	0,24	0,03	0,96	NA	0,47
Sudoeste de Goiás	5213103	9	Mineiros	0,03	0,03	0,26	0,52	0,23	0,80	0,06	0,07
Sudoeste de Goiás	5213756	10	Montividiu	0,03	0,03	0,92	0,08	0,00	0,92	NA	0,04
Sudoeste de Goiás	5215652	11	Palestina de Goiás	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Sudoeste de Goiás	5216452	12	Perolândia	0,02	0,02	0,94	0,04	0,02	0,85	NA	0,03
Sudoeste de Goiás	5218102	13	Portelândia	0,02	0,02	0,93	0,00	0,07	0,82	NA	0,05
Sudoeste de Goiás	5218805	14	Rio Verde	0,02	0,02	0,97	0,01	0,02	0,91	NA	0,02
Sudoeste de Goiás	5219308	15	Santa Helena de Goiás	0,35	0,10	0,65	0,34	0,01	0,95	NA	0,40
Sudoeste de Goiás	5219407	16	Santa Rita do Araguaia	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	0,00	0,00
Sudoeste de Goiás	5219712	17	Santo Antônio da Barra	0,08	0,08	0,70	0,29	0,01	0,91	NA	0,12
Sudoeste de Goiás	5220504	18	Serranópolis	0,02	0,02	0,32	0,66	0,02	0,94	0,03	0,00
Totais				0,03	0,02	0,64	0,29	0,07	0,88	0,19	0,06
Microrregião	Código IBGE	nº	UTA Município	IOCC	IECC	ISAA	ISAP	ISVN	IEAC	IESC_s	IESC_t
Vale do Rio do Bois	5200134	1	Acreúna	0,11	0,09	0,28	0,70	0,03	0,95	NA	0,16
Vale do Rio do Bois	5204607	2	Campestre de Goiás	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Vale do Rio do Bois	5205455	3	Cezarina	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Vale do Rio do Bois	5207352	4	Edealina	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,90	NA	0,00
Vale do Rio do Bois	5207402	5	Edéia	0,10	0,10	0,79	0,16	0,05	0,95	NA	0,14
Vale do Rio do Bois	5209952	6	Indiara	0,05	0,04	0,70	0,29	0,01	0,95	NA	0,07
Vale do Rio do Bois	5211701	7	Jandaia	0,15	0,03	0,52	0,47	0,01	0,80	NA	0,25
Vale do Rio do Bois	5215702	8	Palmeiras de Goiás	0,00	0,00	0,57	0,43	0,00	0,91	NA	0,00
Vale do Rio do Bois	5215900	9	Palminópolis	0,04	0,04	0,95	0,00	0,05	0,95	NA	0,04
Vale do Rio do Bois	5216403	10	Paraúna	0,02	0,01	0,65	0,31	0,04	0,95	NA	0,02
Vale do Rio do Bois	5220058	11	São João da Paraúna	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Vale do Rio do Bois	5221551	12	Turvelândia	0,24	0,08	0,66	0,33	0,01	0,95	NA	0,30
Vale do Rio do Bois	5221908	13	Varjão	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,00
Totais				0,06	0,04	0,59	0,38	0,03	0,94	NA	0,09

Nota: (i) IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) ISAA - Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (iv) ISAP - Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (v) ISVN - Índice de Supressão de Vegetação Nativa; (vi) IEAC - Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira; (vii) IESC_s - Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira; (viii) IESU - Índice de Expansão Sustentável da Cultura Canavieira

ANEXO H - Lista de estação fluviométricas da ANA utilizadas para a regionalização das vazões específicas (qmlt e q95%)

Estações Fluviométricas - ANA												
Bacia		Subbacia		Estado	Rio		Município		Estação Fluviométrica			
Nome	Código	Nome	Código	Nome	Nome	Código	Nome	Código	Responsável	Operadora	Nome	Código
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO APORÉ OU DO PEIXE	60950000	APORÉ	26016000	ANA	DESATIVADA	APORE	60965000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO TURVO	60540000	EDÉIA	26075000	ANA	CPRM	BARRA DO MONJOLO	60765000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	MS	RIO APORÉ OU DO PEIXE	60950000	CASSILÂNDIA	28020000	ANA	DESATIVADA	BARRA DO PRATA	60960000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO CORRENTE	60910000	APORÉ	26016000	ANA	CPRM	CAMPO ALEGRE	60940000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO SÃO MARCOS	60180000	CAMPO ALEGRE DE GOIÁS	26049000	ANA	DESATIVADA	CAMPO ALEGRE DE GOIÁS	60030000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO CORRENTE	60910000	ITAJÁ	26109000	ANA	CPRM	CANASTRA	60950000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO DO PEIXE	60335000	CALDAS NOVAS	26046000	FURNAS	FURNAS	CHACARA DA BARRA	60564000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO SÃO BENTO	60189000	DA VINÓPOLIS	26070000	ANA	DESATIVADA	DA VINOPOLIS	60050000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO CORUMBÁ	60300000	ORIZONA	26155000	ANA	FURNAS	ENGENHEIRO AMORIM	60510010
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO VERÍSSIMO	60189000	GOIANDIRA	26086000	FURNAS	FURNAS	ESTAÇÃO VERÍSSIMO	60200000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIBEIRÃO SANTA BÁRBA	60561000	GOIATUBA	26036000	ANA	CPRM	FAZENDA ALIANÇA	60810000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO DOS BOIS	60500000	VARJÃO	26221000	ANA	CPRM	FAZENDA BOA VISTA	60715000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO FORMOSO	60911500	CHAPADÃO DO CÉU	26056200	ANA	CPRM	FAZENDA FORMOSO	60930000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO MONTE ALEGRE	60554000	RIO VERDE	26190000	ANA	CPRM	FAZENDA MONTE	60778000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO TURVO	60540000	PARAÚNA	26166000	ANA	CPRM	FAZENDA NOVA DO	60750000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO VERDINHO	60555000	RIO VERDE	26190000	ANA	CPRM	FAZENDA PARAÍSO	60785005
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	CÓRREGO DOS BOIS	60664000	SILVÂNIA	26208000	ANA	CPRM	FAZENDA RIO DOS BOIS	60805050
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO CLARO	60700000	SÃO SIMÃO	26206000	CESP	DESATIVADA	FAZENDA RONDINHA	60907000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO DOS BOIS	60500000	PARAÚNA	26092000	ANA	CPRM	FAZENDA SANTA	60772000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO SÃO MARCOS	60180000	DA VINÓPOLIS	26070000	ANA	DESATIVADA	FAZENDA SÃO DOMINGO	60040000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO APORÉ OU DO PEIXE	60950000	ITAJÁ	26109000	ANA	CPRM	ITAJÁ	60970000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO VERDE		ITARUMÃ		ANA	DESATIVADA	ITARUMÃ	60920000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO MEIA PONTE	60400000	GOIÂNIA	26088000	ANA	CPRM	JUSANTE DE GOIANIA	60650000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO PIRACANJUBA	60350000	MORRINHOS	26140000	FURNAS	FURNAS	JUSANTE PONTE GO-213	60591000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO VERDE OU VERDÃO	60550000	MAURILÂNDIA	26131000	ANA	CPRM	MAURILÂNDIA	60798000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO PIRACANJUBA	60330000	MONTES CLAROS DE GOIÁS	26139000	ANA	FURNAS	MONTES CLAROS	60540000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO VERDE OU VERDÃO	60550000	MONTIVIDIU	26190000	ANA	CPRM	MONTIVIDIU	60774000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO CORUMBÁ	60300000	PIRES DO RIO	26176000	ANA	DESATIVADA	PIRES DO RIO	60545000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO CORUMBÁ	60300000	PIRES DO RIO	26176000	FURNAS	FURNAS	PIRES DO RIO -ME	60544990
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO DOCE	60717000	CACHOEIRA ALTA		ANA	DESATIVADA	PONTE BR-364	60900000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO VERDE	60800000	MINEROS	26133000	ANA	CPRM	PONTE DO CEDRO	60910000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO CLARO	24900000	JATAÍ	26120000	ANA	DESATIVADA	PONTE DO RIO CLARO	60885000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO MEIA PONTE	60400000	ITUMBIARA	26116000	ANA	CPRM	PONTE MEIA PONTE	60680000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO DOCE	60717000	JATAÍ	26120000	ANA	CPRM	PONTE RIO DOCE	60895000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO VERDE OU VERDÃO	60550000	ACREUNA		ANA	CPRM	PONTE RIO VERDÃO	60790000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO VERDE OU VERDÃO	60550000	PARAÚNA	26166000	ANA	CPRM	PONTE RODA GEM	60781000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO DOS DOURADOS	60426000	PROFESSOR JAMIL	26173000	ANA	CPRM	PROFESSOR JAMIL	60665000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO PRETO	60641000	QUIRINÓPOLIS	26036000	ANA	CPRM	QUIRINÓPOLIS	60870000
RIO PARANÁ	6	RIO PARANAÍBA	60	GO	RIO DAS ANTAS	60313000	ANÁPOLIS	26012000	ANA	CPRM	RIBEIRÃO DAS ANTAS	60432000
RIO TOCANTINS	2	RIO ARAGUAIA	24	MS	RIO ARAGUAIA	24001000	ALTO ARAGUAIA	25008000	ANA	CPRM	ALTO ARAGUAIA	24050000
RIO TOCANTINS	2	RIO ARAGUAIA	24	GO	RIO CAIAPÓ	24800000	ARENÓPOLIS	26019400	ANA	CPRM	SÃO FERREIRA	24750000
RIO TOCANTINS	2	RIO ARAGUAIA	24	GO	RIO CLARO	24900000	IPORÁ	26103000	ANA	CPRM	IVOLÂNDIA	24900000
RIO TOCANTINS	3	RIO ARAGUAIA	25	GO	RIO DO PEIXE	24350000		26072400			RIO DO PEIXE	24196000
RIO TOCANTINS	2	RIO ARAGUAIA	24	GO	RIO PIRANHAS	24870000	PIRANHAS	26174000	ANA	CPRM	PIRANHAS	24780000
RIO TOCANTINS	2	RIO ARAGUAIA	24	GO	RIO BABILÔNIA	24100000	SANTA RITA DO ARAGUAIA	26196000	ANA	CPRM	MONTANTE DO	24070000
RIO TOCANTINS	2	RIO ARAGUAIA	24	MS	RIO ARAGUAIA	24001000	TORIXORÉU	25156000	ANA	CPRM	TORIXOREU	24200000

ANEXO I - Lista de estação fluviométricas da ANA utilizadas e as correções para a realização da análise de consistência e preenchimento de falhas e extensão de series fluviométricas

Estação Fluviométrica		Localização geográfica			Dados hidrológicos					
Nome	Codigo	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Area Drenagem (km ²)	Vazão Qmlt (m ³ /s)	Série histórica			
							Período		Estação de correlação	Coef (R ²)
		Datas		Nº de anos						
RIBEIRÃO DAS ANTAS	60432000	-16,2981	-48,8033	881	218,00	5,91	1979;2006	28		
RIO PAMPLONA	60495000	-16,4317	-47,6914		283,00	4,21	11/99;12/06	7		
ENGENHEIRO AMORIM	60510010	-17,0361	-47,9408	x	15.500,00	233,73	1973;2007	35	60540000	0,8372
MONTES CLAROS	60540000	-17,1297	-48,1333	669	3.843,00	54,58	1973;2007	35		
INHUMAS	60635000	-16,3464	-49,4942	900	532,00	6,92	1948;2005	58		
MONTANTE DE GOIÂNIA	60640000	-16,6136	-49,2797	x	1.740,00	23,47	1977;2007	31		
CAPTAÇÃO JOÃO LEITE	60642000	-16,5	-49,2428	x	765,00	10,60	11/74;04/07	32		
JUSANTE DE GOIÂNIA	60650000	-16,6811	-49,1964	x	2.830,00	44,60	02/78;03/07	28		
RIBEIRÃO DAS CALDAS	60653000	-16,4581	-48,8972	933	51,00	1,03	03/78;11/06	27		
FAZENDA SUCURI	60654000	-16,9136	-49,1047		1.290,00	18,24	01/80;04/07	27		
PROFESSOR JAMIL	60665000	-17,2536	-49,275	x	1.198,00	18,92	1976;2006	31	60640000;60650000	0,7265;0,7388
PONTE MEIA PONTE	60680000	-18,3389	-49,6108	468	11.527,00	158,24	1953;2006	54		
FAZENDA BOA VISTA	60715000	-17,1069	-49,6883	587	4.533,00	46,53	1953;2006	54		
FAZENDA NOVA DO TURVO	60750000	-17,0792	-50,2894	X	2.486,00	24,75	1958;2006	49	60765000	0,8993
BARRA DO MONJOLO	60765000	-17,7322	-50,1808	x	7.583,00	73,81	1958;2006	49	60772000;60750000	0,9590;0,8993
FAZENDA SANTA MARIA	60772000	-17,9808	-50,2469	x	16.752,00	165,09	1958;2006	49	60750000	0,8802
MONTIVIDIU	60774000	-17,3592	-51,0753	x	780,00	21,25	1964;2006	43	60781000;60790000	0,9262;0,9279
FAZENDA MONTE ALEGRE	60778000	-17,3308	-50,7742	x	850,00	16,37	1975;2006	32		
PONTE RODAGEM	60781000	-17,3258	-50,6819	534	5.909,00	106,87	1964;2006	43	60774000;60790000	0,9262;0,9528
FAZENDA PARAÍSO	60785005	-17,4658	-50,7742	x	1.164,00	21,57	1965;2006	42	60790000;60780000	0,8852;0,7464
PONTE RIO VERDÃO	60790000	-17,5414	-50,5561	x	8.643,00	148,85	1964;2006	43	60774000;60781000	0,9279;0,9528
MAURILÂNDIA	60798000	-17,9742	-50,3372	x	12.660,00	207,32	1964;2006	43	60774000;60790000	0,8547;0,9588
FAZENDA RIO DOS BOIS	60805050	-16,8358	-48,6556		393,00	8,76	1973;2007	35	60540000	0,8859
FAZENDA ALIANÇA	60810000	-18,1047	-50,0314	x	1.333,00	20,44	1970;2006	37		
QUIRINÓPOLIS	60870000	-18,4983	-50,5286		1.711,00	24,28	1972;2006	35		
PONTE RIO DOCE	60895000	-17,8608	-51,3900	x	1.277,00	26,62	1972;2006	35	60907000	0,8307
PONTE DO CEDRO	60910000	-17,5794	-52,6014	x	703,00	12,59	1966;2005	40		
FAZENDA FORMOSO	60930000	-18,4067	-52,5325	x	1.455,00	27,17	1973;2006	34	60940000	0,8333
CAMPO ALEGRE	60940000	-18,5117	-52,0933	659	2.874,00	61,24	1973;2006	34	60950000	0,8907
CANA STRA	60950000	-19,1003	-51,1492	x	6.882,00	112,20	1973;2006	34	60940000	0,8907
ITAJÁ	60970000	-19,1397	-51,5336	662	5.413,00	104,30	1973;2006	34	60965000	0,8664
APORE	60965000	-18,9842	-51,9258	x	4.168,00	84,11	1973;2006	34		
BARRA DO PRATA	60960000	-18,6894	-52,5944	701	289,00	7,76	1985;2006	22		
FAZENDA ALIANÇA	60810000	-18,1047	-50,0314		1.333,00	20,58	05/69;04/2007	38		
CHACARA DA BARRA	60564000	-17,31:58	-48:30:22		3.310,00	55,79	1973;2007	35	60540000	0,945
JUSANTE PONTE GO-213	60591000	-17,7478	-48,8444	0	2.363,00	33,29	1967;2009	43	60665000;60680000	0,8524;0,8977
FAZENDA RONDINHA	60907000	-19,0831	-50,6483	328	13.720,00	235,04	1972;2006	32	60895000	0,8307
ITAJÁ	60970000	-19:8:23	-51:32:1		5.220,00	104,34	08/72;04/07	36		
ALTO ARAGUAIA	24050000	-17,3019	-53,2208	655	2.070,00	50,73	1965;2006	42		
MONTANTE DO RIBEIRÃO BABILÔNIA	24070000	-17,2192	-53,1608	622	1.847,60	36,06	1972;2006	35	24050000	0,7694
PIRANHAS	24780000	-16,4306	-51,8164	x	1.350,00	28,16	1976;2006	31	24750000	0,8427
SÃO FERREIRA	24750000	-16,3025	-51,4692	x	6.471,00	127,18	1975;2006	32	24780000	0,8427
IVOLÂNDIA	24900000	-16,5125	-50,9961	487	2.022,00	31,26	1975;2006	32	24780000;24750000	0,7514;0,7997
RIO DO PEIXE	24196000	-16,7186	-52,3322	x	1613	34,883877	1972;2006	35	24780000;24200000	0,7547;0,7881

Nota: (i) Coef (R²) coeficiente de correlação

ANEXO J – Parâmetros hidrológicos:vazões específicas para as microrregiões de Meia Ponte e Quirinópolis

PONDERAÇÃO qmlt e q 95%								
LOCALIZAÇÃO		AREAS		VAZÕES ESPECÍFICAS (L/s.km ²)				
Microrregião	Município	Stu (ha)	Stu (km2)	Média	Permanencia	Regularização	Alocação	Remanescente
				qmlt	q95%	qmlt (-) q95%	(1/2) q95%	(1/2) q95%
Meia Ponte	Água Limpa	45285,6	452,856	14,33563352	3,050997018	11,2846365	1,525498509	1,525498509
Meia Ponte	Aloândia	10216	102,16	15,1	3,752227558	11,34777244	1,876113779	1,876113779
Meia Ponte	Bom Jesus de Goiás	140521,8	1405,218	15,06502071	4,337323247	10,72769747	2,168661624	2,168661624
Meia Ponte	Buriti Alegre	89739,4	897,394	14,02823204	3,010413664	11,01781838	1,505206832	1,505206832
Meia Ponte	Cachoeira Dourada	52113	521,13	14,38732304	3,894565396	10,49275764	1,947282698	1,947282698
Meia Ponte	Caldas Novas	158951,8	1589,518	15,68493406	3,699406243	11,98552782	1,849703121	1,849703121
Meia Ponte	Cromínia	36991,7	369,917	16,30294338	4,587878719	11,71506466	2,293939359	2,293939359
Meia Ponte	Goiatuba	247510,7	2475,107	14,18920061	3,79282503	10,39637558	1,896412515	1,896412515
Meia Ponte	Inaciolândia	68839,8	688,398	15,3	4,490841442	10,80915856	2,245420721	2,245420721
Meia Ponte	Itumbiara	246128	2461,28	14,00945961	3,590066706	10,4193929	1,795033353	1,795033353
Meia Ponte	Joviânia	45488,4	454,884	13,40930129	3,332884031	10,07641726	1,666442016	1,666442016
Meia Ponte	Mairipotaba	46097,5	460,975	13,97355523	3,256458911	10,71709632	1,628229455	1,628229455
Meia Ponte	Marzagão	22809,1	228,091	14,9966131	3,431977456	11,56463564	1,715988728	1,715988728
Meia Ponte	Morrinhos	284619,1	2846,191	14,76210485	3,542898279	11,21920657	1,771449139	1,771449139
Meia Ponte	Panamá	43375,9	433,759	13,7	3,44551904	10,25448096	1,72275952	1,72275952
Meia Ponte	Piracanjuba	240511,4	2405,114	17,23532012	5,048026471	12,18729365	2,524013236	2,524013236
Meia Ponte	Pontalina	142819,4	1428,194	12,41154944	2,719451278	9,692098162	1,359725639	1,359725639
Meia Ponte	Porteirão	60391,7	603,917	11,20085881	2,567767779	8,633091033	1,28388389	1,28388389
Meia Ponte	Professor Jamil	34746,4	347,464	17,2	5,147401323	12,05259868	2,573700662	2,573700662
Meia Ponte	Rio Quente	25673,9	256,739	14,10429776	2,917657957	11,18663981	1,458828979	1,458828979
Meia Ponte	Vicentinópolis	73725,1	737,251	10,50789706	2,140028457	8,367868603	1,070014228	1,070014228
Meia Ponte	TOTAL	2116556	21165,56					
Quirinópolis	Cachoeira Alta	165434,3	1654,343	17,08359323	7,477964229	9,605629006	3,738982115	3,738982115
Quirinópolis	Caçu	225109,8	2251,098	17,97234608	8,795616339	9,176729738	4,39780817	4,39780817
Quirinópolis	Gouvelândia	83077	830,77	14,88934318	4,700656853	10,18868632	2,350328427	2,350328427
Quirinópolis	Itajá	209139,4	2091,394	18,74339761	11,53597832	7,20741929	5,767989161	5,767989161
Quirinópolis	Itarumã	343361,9	3433,619	18,4963818	10,72484133	7,771540469	5,362420665	5,362420665
Quirinópolis	Lagoa Santa	45886,5	458,865	19,28010682	12,18027155	7,09983527	6,090135777	6,090135777
Quirinópolis	Paranaiguara	115378,6	1153,786	14,76140661	5,483121819	9,278284796	2,741560909	2,741560909
Quirinópolis	Quirinópolis	378017,3	3780,173	14,57987073	5,171891089	9,40797964	2,585945544	2,585945544
Quirinópolis	São Simão	41405,5	414,055	15,73065352	6,226189271	9,504464253	3,113094635	3,113094635
Quirinópolis	TOTAL	1606810	16068,1					

Nota: (i) qmlt:vazão específica média de longo termo;. (ii) q95%: vazão específica com 95% de permanência; (iii) Stu- área total da unidade. (iv) Sic- área de irrigação compulsória

ANEXO K – Parâmetros hidrológicos: volumes hídricos disponíveis para as microrregiões de Meia Ponte e Quirinópolis

LOCALIZAÇÃO		VAZÕES (l/s)		PERIODOS		VOLUMES HÍDRICOS DISPONÍVEIS				
Microrregião	Município	Regularização qmlt (-) q95%	Alocação (1/2) q95%	Regularização 6 meses (s)	Alocação 12 meses (s)	Litros		m ³		Disponibilidade Hídrica Total
						Regularização	Alocação	Regularização	Alocação	
Meia Ponte	Água Limpa	5110,315346	690,8311527	15552000	31104000	79475624258	21487612175	79475624,26	21487612,17	100963236,4
Meia Ponte	Aloândia	1159,288433	191,6637837	15552000	31104000	18029253705	5961510327	18029253,71	5961510,327	23990764,03
Meia Ponte	Bom Jesus de Goiás	15074,75358	3047,442349	15552000	31104000	2,34443E+11	94787646835	234442567,6	94787646,84	329230214,5
Meia Ponte	Buriti Alegre	9887,324103	1350,76358	15552000	31104000	1,53768E+11	42014150388	153767664,5	42014150,39	195781814,8
Meia Ponte	Cachoeira Dourada	5468,09079	1014,787432	15552000	31104000	85039747971	31563948300	85039747,97	31563948,3	116603696,3
Meia Ponte	Caldas Novas	19051,21221	2940,136406	15552000	31104000	2,96284E+11	91450002773	296284452,3	91450002,77	387734455,1
Meia Ponte	Cromínia	4333,601575	848,567166	15552000	31104000	67396171699	26393833131	67396171,7	26393833,13	93790004,83
Meia Ponte	Goiatuba	25732,14198	4693,823891	15552000	31104000	4,00186E+11	1,45997E+11	400186272,1	145996698,3	546182970,4
Meia Ponte	Inaciolândia	7441,003133	1545,743134	15552000	31104000	1,15722E+11	48078794429	115722480,7	48078794,43	163801275,1
Meia Ponte	Itumbiara	25645,04336	4418,079691	15552000	31104000	3,98832E+11	1,3742E+11	398831714,3	137419950,7	536251665
Meia Ponte	Joviânia	4583,600989	758,0378099	15552000	31104000	71284162580	23578008038	71284162,58	23578008,04	94862170,62
Meia Ponte	Mairipotaba	4940,313477	750,5730732	15552000	31104000	76831755197	23345824869	76831755,2	23345824,87	100177580,1
Meia Ponte	Marzagão	2637,789308	391,401585	15552000	31104000	41022899314	12174154899	41022899,31	12174154,9	53197054,21
Meia Ponte	Morrinhos	31932,00477	5041,882597	15552000	31104000	4,96607E+11	1,56823E+11	496606538,2	156822716,3	653429254,5
Meia Ponte	Panamá	4447,973407	747,2624466	15552000	31104000	69174882424	23242851138	69174882,42	23242851,14	92417733,56
Meia Ponte	Piracanjuba	29311,83057	6070,539569	15552000	31104000	4,55858E+11	1,88818E+11	455857589	188818062,8	644675651,7
Meia Ponte	Pontalina	13842,19644	1941,951999	15552000	31104000	2,15274E+11	60402474990	215273839,1	60402474,99	275676314,1
Meia Ponte	Porteirão	5213,670438	775,359307	15552000	31104000	81083002644	24116775886	81083002,64	24116775,89	105199778,5
Meia Ponte	Professor Jamil	4187,844147	894,2683267	15552000	31104000	65129352168	27815322034	65129352,17	27815322,03	92944674,2
Meia Ponte	Rio Quente	2872,046717	374,5382932	15552000	31104000	44666070546	11649639071	44666070,55	11649639,07	56315709,62
Meia Ponte	Vicentinópolis	6169,219495	788,86906	15552000	31104000	95943701589	24536983241	95943701,59	24536983,24	120480684,8
Meia Ponte	TOTAL	229041,2643	39276,52265					3562049742	1221656961	4783706703
Quirinópolis	Cachoeira Alta	15891,00511	6185,558888	15552000	31104000	2,47137E+11	1,92396E+11	247136911,4	192395623,7	439532535,1
Quirinópolis	Caçu	20657,71796	9899,897175	15552000	31104000	3,21269E+11	3,07926E+11	321268829,7	307926401,7	629195231,4
Quirinópolis	Gouvelândia	8464,454937	1952,582347	15552000	31104000	1,31639E+11	60733121320	131639203,2	60733121,32	192372324,5
Quirinópolis	Itajá	15073,55346	12063,13792	15552000	31104000	2,34424E+11	3,75212E+11	234423903,4	375211842	609635745,3
Quirinópolis	Itarumã	26684,50901	18412,50948	15552000	31104000	4,14997E+11	5,72703E+11	414997484,2	572702694,9	987700179,1
Quirinópolis	Lagoa Santa	3257,865911	2794,550153	15552000	31104000	50666330648	86921687971	50666330,65	86921687,97	137588018,6
Quirinópolis	Paranaiguara	10705,1551	3163,174596	15552000	31104000	1,66487E+11	98387382619	166486572,1	98387382,62	264873954,8
Quirinópolis	Quirinópolis	35563,79062	9775,321527	15552000	31104000	5,53088E+11	3,04052E+11	553088071,7	304051600,8	857139672,5
Quirinópolis	São Simão	3935,370946	1288,992399	15552000	31104000	61202888955	40092819588	61202888,95	40092819,59	101295708,5
Quirinópolis	TOTAL	140233,4231	65535,72449					2180910195	2038423175	4219333370

Nota: (i) qmlt:vazão específica média de longo termo;. (ii) q95%: vazão específica com 95% de permanência

ANEXO L – Parâmetros hidrológicos:vazões específicas para as microrregiões de Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois

PONDERAÇÃO qmlt e q 95%								
LOCALIZAÇÃO		AREAS		VAZÕES ESPECÍFICAS (l/s.km ²)				
Microrregião	Município	Stu (ha)	Stu (km ²)	Média	Permanencia	Regularização	Alocação	Remanescente
				qmlt	q95%	qmlt (-) q95%	(1/2) q95%	(1/2) q95%
Sudoeste de Goiás	Aparecida do Rio Doce	60228,8	602,288	18,87259828	8,403147988	10,46945029	4,201573994	4,201573994
Sudoeste de Goiás	Aporé	290034,4	2900,344	21,75948367	15,10478867	6,654694998	7,552394337	7,552394337
Sudoeste de Goiás	Caiapônia	865318,9	8653,189	20,08741164	3,603451786	16,48395985	1,801725893	1,801725893
Sudoeste de Goiás	Castelândia	29742,8	297,428	15,29492841	4,493432654	10,80149575	2,246716327	2,246716327
Sudoeste de Goiás	Chapadão do Céu	235482,2	2354,822	22,2017903	15,56453027	6,637260028	7,782265136	7,782265136
Sudoeste de Goiás	Doverlândia	320754,3	3207,543	20,15816152	3,409093521	16,749068	1,704546761	1,704546761
Sudoeste de Goiás	Jataí	717421,7	7174,217	19,6768431	5,605079342	14,07176376	2,802539671	2,802539671
Sudoeste de Goiás	Maurilândia	39379,3	393,793	17,26459275	6,875782162	10,38881058	3,437891081	3,437891081
Sudoeste de Goiás	Mineiros	889630,4	8896,304	20,19067352	9,51887268	10,67180084	4,75943634	4,75943634
Sudoeste de Goiás	Montividiu	187461,1	1874,611	20,81642147	9,333703338	11,48271813	4,666851669	4,666851669
Sudoeste de Goiás	Palestina de Goiás	132068,3	1320,683	20,28011223	2,430103469	17,85000876	1,215051734	1,215051734
Sudoeste de Goiás	Perolândia	102962,2	1029,622	18,57172019	5,887358562	12,68436163	2,943679281	2,943679281
Sudoeste de Goiás	Portelândia	55064,6	550,646	20,19691538	7,765277502	12,43163788	3,882638751	3,882638751
Sudoeste de Goiás	Rio Verde	838829,5	8388,295	19,4252723	8,286989968	11,13828233	4,143494984	4,143494984
Sudoeste de Goiás	Santa Helena de Goiás	112785,5	1127,855	18,43764041	7,968052676	10,46958773	3,984026338	3,984026338
Sudoeste de Goiás	Santa Rita do Araguaia	136176,4	1361,764	22	11,20697738	10,79302262	5,603488691	5,603488691
Sudoeste de Goiás	Santo Antônio da Barra	45159,6	451,596	17,9	7,647118469	10,25288153	3,823559234	3,823559234
Sudoeste de Goiás	Serranópolis	552652,6	5526,526	19,48923955	9,271207218	10,21803234	4,635603609	4,635603609
Sudoeste de Goiás	TOTAL	5611153	56111,53					
Rio dos Bois	Acreúna	156598,9	1565,989	11,70107836	3,348780171	8,352298188	1,674390086	1,674390086
Rio dos Bois	Campestre de Goiás	27381,6	273,816	10,79323816	2,06798721	8,725250946	1,033993605	1,033993605
Rio dos Bois	Cezarina	41580,9	415,809	9,960524161	1,918447669	8,042076492	0,959223835	0,959223835
Rio dos Bois	Edealina	60365,2	603,652	9,982763123	1,902914199	8,079848925	0,951457099	0,951457099
Rio dos Bois	Edéia	146151,9	1461,519	9,842009064	2,001228096	7,840780968	1,000614048	1,000614048
Rio dos Bois	Indiara	95647,3	956,473	9,821520318	2,015539075	7,805981243	1,007769538	1,007769538
Rio dos Bois	Jandaia	86410,4	864,104	9,8	2,030570587	7,769429413	1,015285294	1,015285294
Rio dos Bois	Palmeiras de Goiás	153968,3	1539,683	9,87987424	1,974780027	7,905094212	0,987390014	0,987390014
Rio dos Bois	Palminópolis	38769,3	387,693	9,8	2,030570587	7,769429413	1,015285294	1,015285294
Rio dos Bois	Paraúna	378121,9	3781,219	16,2190134	5,934987761	10,28402564	2,967493881	2,967493881
Rio dos Bois	São João da Paraúna	30535,7	305,357	11,83698343	2,93145102	8,905532411	1,46572551	1,46572551
Rio dos Bois	Turvelândia	93426	934,26	12,44568094	3,865087839	8,580593106	1,932543919	1,932543919
Rio dos Bois	Varjão	51902,9	519,029	11,7204245	2,275007517	9,445416982	1,137503759	1,137503759
Rio dos Bois	TOTAL	1360860	13608,6					

Nota: (i) qmlt:vazão específica média de longo termo;. (ii) q95%: vazão específica com 95% de permanência; (iii) Stu- área total da unidade. (iv) Sic- área de irrigação compulsória

ANEXO M – Parâmetros hidrológicos: volumes hídricos disponíveis para as microrregiões de Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois.

LOCALIZAÇÃO		VAZÕES (l/s)		PERIODOS		VOLUMES HÍDRICOS DISPONÍVEIS				
						Litros		m ³		Disponibilidade Hídrica Total
Microrregião	Município	Regularização qmlt (-) q95%	Alocação (1/2) q95%	Regularização	Alocação	Regularização	Alocação	Regularização	Alocação	
				6 meses (s)	12 meses (s)					
Sudoeste de Goiás	Aparecida do Rio Doce	6305,624276	2530,557598	15552000	31104000	98065068737	78710463515	98065068,74	78710463,52	176775532,3
Sudoeste de Goiás	Aporé	19300,90471	21904,5416	15552000	31104000	3,00168E+11	6,81319E+11	300167670,1	681318862	981486532
Sudoeste de Goiás	Caiapônia	142638,82	15590,67468	15552000	31104000	2,21832E+12	4,84932E+11	2218318929	484932345,2	2703251275
Sudoeste de Goiás	Castelândia	3212,667278	668,2363437	15552000	31104000	49963401511	20784823235	49963401,51	20784823,24	70748224,75
Sudoeste de Goiás	Chapadão do Céu	15629,56593	18325,84915	15552000	31104000	2,43071E+11	5,70007E+11	243071009,4	570007212	813078221,4
Sudoeste de Goiás	Doverlândia	53723,35582	5467,40703	15552000	31104000	8,35506E+11	1,70058E+11	835505629,7	170058228,3	1005563858
Sudoeste de Goiás	Jataí	100953,8868	20106,02775	15552000	31104000	1,57003E+12	6,25378E+11	1570034847	625377887,2	2195412734
Sudoeste de Goiás	Maurilândia	4091,040886	1353,817442	15552000	31104000	63623867863	42109137727	63623867,86	42109137,73	105733005,6
Sudoeste de Goiás	Mineiros	94939,58451	42341,39255	15552000	31104000	1,4765E+12	1,31699E+12	1476500418	1316986674	2793487092
Sudoeste de Goiás	Montividiu	21525,62972	8748,531474	15552000	31104000	3,34767E+11	2,72114E+11	334766593,4	272114323	606880916,4
Sudoeste de Goiás	Palestina de Goiás	23574,20312	1604,69817	15552000	31104000	3,66626E+11	49912531870	366626006,9	49912531,87	416538538,8
Sudoeste de Goiás	Perolândia	13060,09779	3030,876949	15552000	31104000	2,03111E+11	94272396616	203110640,9	94272396,62	297383037,5
Sudoeste de Goiás	Portelândia	6845,431672	2137,959498	15552000	31104000	1,0646E+11	66499092219	106460153,4	66499092,22	172959245,6
Sudoeste de Goiás	Rio Verde	93431,19798	34756,85826	15552000	31104000	1,45304E+12	1,08108E+12	1453041991	1081077319	2534119310
Sudoeste de Goiás	Santa Helena de Goiás	11808,17687	4493,404025	15552000	31104000	1,83641E+11	1,39763E+11	183640766,7	139762838,8	323403605,5
Sudoeste de Goiás	Santa Rita do Araguaia	14697,54965	7630,629174	15552000	31104000	2,28576E+11	2,37343E+11	228576292,2	237343089,8	465919382
Sudoeste de Goiás	Santo Antônio da Barra	4630,160288	1726,704056	15552000	31104000	72008252800	53707402957	72008252,8	53707402,96	125715655,8
Sudoeste de Goiás	Serranópolis	56470,22137	25618,78387	15552000	31104000	8,78225E+11	7,96847E+11	878224882,8	796846653,6	1675071536
Sudoeste de Goiás	TOTAL	686838,1187	218036,9496					10681706422	6781821281	17463527703
Rio dos Bois	Acreúna	13079,60709	2622,076456	15552000	31104000	2,03414E+11	81557066076	203414049,4	81557066,08	284971115,5
Rio dos Bois	Campestre de Goiás	2389,113313	283,1239929	15552000	31104000	37155490245	8806288676	37155490,24	8806288,676	45961778,92
Rio dos Bois	Cezarina	3343,967784	398,8539034	15552000	31104000	52005386980	12405951812	52005386,98	12405951,81	64411338,79
Rio dos Bois	Edealina	4877,416963	574,3489809	15552000	31104000	75853588609	17864550703	75853588,61	17864550,7	93718139,31
Rio dos Bois	Edéia	11459,45036	1462,416443	15552000	31104000	1,78217E+11	45487001030	178217372	45487001,03	223704373
Rio dos Bois	Indiara	7466,210297	963,904353	15552000	31104000	1,16115E+11	29981280994	116114502,5	29981280,99	146095783,5
Rio dos Bois	Jandaia	6713,595033	877,3120834	15552000	31104000	1,0441E+11	27287915042	104409830	27287915,04	131697745
Rio dos Bois	Palmeiras de Goiás	12171,33917	1520,267618	15552000	31104000	1,89289E+11	47286404006	189288666,8	47286404,01	236575070,8
Rio dos Bois	Palminópolis	3012,153397	393,6190013	15552000	31104000	46845009635	12243125418	46845009,63	12243125,42	59088135,05
Rio dos Bois	Paraúna	38886,15315	11220,74424	15552000	31104000	6,04757E+11	3,4901E+11	604757453,7	349010029	953767482,7
Rio dos Bois	São João da Paraúna	2719,36666	447,5695446	15552000	31104000	42291590302	13921203116	42291590,3	13921203,12	56212793,42
Rio dos Bois	Turvelândia	8016,504915	1805,498482	15552000	31104000	1,24673E+11	56158224788	124672684,4	56158224,79	180830909,2
Rio dos Bois	Varjão	4902,445331	590,3974384	15552000	31104000	76242829783	18363721924	76242829,78	18363721,92	94606551,71
Rio dos Bois	TOTAL	119037,3235	23160,13254					1851268454	720372762,5	2571641217

Nota: (i) qmlt: vazão específica média de longo termo;. (ii) q95%: vazão específica com 95% de permanência

ANEXO N – Balanço da demanda hídrica para a irrigação nas microrregiões de Meia Ponte e Quirinópolis.

BALANÇO DA DEMANDA HÍDRICA PARA A IRRIGAÇÃO										
LOCALIZAÇÃO		ÁREAS		DEMANDA BRUTA		REAPROVEITAMENTO			DEMANDA EFETIVA	
Microrregião	Município	Stu	Sic	Dh= 10 λ. Sic (bruta)		lavagem	vinhaça	total economizado	descontada	volume a ser captado
		ha	ha	10 λ	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
Meia Ponte	Água Limpa	45285,6	16193,958	800	12955166,4	1425068,304	1321426,973	2746495,277	10208671,12	12760838,9
Meia Ponte	Aloândia	10216	4029,25	800	3223400	354574	328786,8	683360,8	2540039,2	3175049
Meia Ponte	Bom Jesus de Goiás	140521,8	128292,505	800	102634004	11289740,44	10468668,41	21758408,85	80875595,15	101094493,9
Meia Ponte	Buriti Alegre	89739,4	18274,972	800	14619977,6	1608197,536	1491237,715	3099435,251	11520542,35	14400677,94
Meia Ponte	Cachoeira Dourada	52113	41022,884	800	32818307,2	3610013,792	3347467,334	6957481,126	25860826,07	32326032,59
Meia Ponte	Caldas Novas	158951,8	83269,746	800	66615796,8	7327737,648	6794811,274	14122548,92	52493247,88	65616559,85
Meia Ponte	Cromínia	36991,7	13070,542	800	10456433,6	1150207,696	1066556,227	2216763,923	8239669,677	10299587,1
Meia Ponte	Goiatuba	247510,7	205162,599	800	164130079,2	18054308,71	16741268,08	34795576,79	129334502,4	161668128
Meia Ponte	Inaciolândia	68839,8	58942,43	800	47153944	5186933,84	4809702,288	9996636,128	37157307,87	46446634,84
Meia Ponte	Itumbiara	246128	189652,409	800	151721927,2	16689411,99	15475636,57	32165048,57	119556878,6	149446098,3
Meia Ponte	Joviânia	45488,4	31207,179	800	24965743,2	2746231,752	2546505,806	5292737,558	19673005,64	24591257,05
Meia Ponte	Mairipotaba	46097,5	20942,158	800	16753726,4	1842909,904	1708880,093	3551789,997	13201936,4	16502420,5
Meia Ponte	Marzagão	22809,1	6742,722	800	5394177,6	593359,536	550206,1152	1143565,651	4250611,949	5313264,936
Meia Ponte	Morrinhos	284619,1	144285,001	800	115428000,8	12697080,09	11773656,08	24470736,17	90957264,63	113696580,8
Meia Ponte	Panamá	43375,9	31640,506	800	25312404,8	2784364,528	2581865,29	5366229,818	19946174,98	24932718,73
Meia Ponte	Piracanjuba	240511,4	188258,281	800	150606624,8	16566728,73	15361875,73	31928604,46	118678020,3	148347525,4
Meia Ponte	Pontalina	142819,4	63360,777	800	50688621,6	5575748,376	5170239,403	10745987,78	39942633,82	49928292,28
Meia Ponte	Porteirão	60391,7	48972,494	800	39177995,2	4309579,472	3996155,51	8305734,982	30872260,22	38590325,27
Meia Ponte	Professor Jamil	34746,4	8431,212	800	6744969,6	741946,656	687986,8992	1429933,555	5315036,045	6643795,056
Meia Ponte	Rio Quente	25673,9	11105,723	800	8884578,4	977303,624	906226,9968	1883530,621	7001047,779	8751309,724
Meia Ponte	Vicentinópolis	73725,1	58428,966	800	46743172,8	5141749,008	4767803,626	9909552,634	36833620,17	46042025,21
TOTAL 21		2116556	1371286,314	800	1097029051	120673195,6	111896963,2	232570158,9	864458892,3	1080573615
Quirinoplois	Cachoeira Alta	165434,3	113841,964	800	91073571,2	10018092,83	9289504,262	19307597,09	71765974,11	89707467,63
Quirinoplois	Caçu	225109,8	156368,561	800	125094848,8	13760433,37	12759674,58	26520107,95	98574740,85	123218426,1
Quirinoplois	Gouvelândia	83077	66828,038	800	53462430,4	5880867,344	5453167,901	11334035,24	42128395,16	52660493,94
Quirinoplois	Itajá	209139,4	60311,28	800	48249024	5307392,64	4921400,448	10228793,09	38020230,91	47525288,64
Quirinoplois	Itarumã	343361,9	146684,147	800	117347317,6	12908204,94	11969426,4	24877631,33	92469686,27	115587107,8
Quirinoplois	Lagoa Santa	45886,5	8956,082	800	7164865,6	788135,216	730816,2912	1518951,507	5645914,093	7057392,616
Quirinoplois	Paranaçuara	115378,6	74365,132	800	59492105,6	6544131,616	6068194,771	12612326,39	46879779,21	58599724,02
Quirinoplois	Quirinópolis	378017,3	286852,143	800	229481714,4	25242988,58	23407134,87	48650123,45	180831590,9	226039488,7
Quirinoplois	São Simão	41405,5	26892,637	800	21514109,6	2366552,056	2194439,179	4560991,235	16953118,36	21191397,96

Nota: (i) Stu- área total da unidade. (ii) Sic- área de irrigação compulsória; (iii) 10 λ: lâmina de irrigação

ANEXO O – Balanço da demanda hídrica para a irrigação nas microrregiões de Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois.

BALANÇO DA DEMANDA HÍDRICA PARA A IRRIGAÇÃO										
LOCALIZAÇÃO		ÁREAS		DEMANDA BRUTA		REAPROVEITAMENTO			DEMANDA EFETIVA	
Microrregião	Município	Stu	Sic	Dhi= 10 λ. Sic (bruta)		lavagem	vinhaça	total economizado	descontada	volume a ser captado
		ha	ha	10 λ	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
Sudoeste de Goiás	Aparecida do Rio Doce	60228,8	47853,456	800	38282764,8	4211104,128	3904842,01	8115946,138	30166818,66	37708523,33
Sudoeste de Goiás	Aporé	290034,4	0	800	0	0	0	0	0	0
Sudoeste de Goiás	Caiapônia	865318,9	290681,458	800	232545166,4	25579968,3	23719606,97	49299575,28	183245591,1	229056988,9
Sudoeste de Goiás	Castelândia	29742,8	25199,292	800	20159433,6	2217537,696	2056262,227	4273799,923	15885633,68	19857042,1
Sudoeste de Goiás	Chapadão do Céu	235482,2	0	800	0	0	0	0	0	0
Sudoeste de Goiás	Doverlândia	320754,3	138503,303	800	110802642,4	12188290,66	11301869,52	23490160,19	87312482,21	109140602,8
Sudoeste de Goiás	Jataí	717421,7	443077,859	800	354462287,2	38990851,59	36155153,29	75146004,89	279316282,3	349145352,9
Sudoeste de Goiás	Maurilândia	39379,3	35079,407	800	28063525,6	3086987,816	2862479,611	5949467,427	22114058,17	27642572,72
Sudoeste de Goiás	Mineiros	889630,4	279311,964	800	223449571,2	24579452,83	22791856,26	47371309,09	176078262,1	220097827,6
Sudoeste de Goiás	Montividiu	187461,1	145105,378	800	116084302,4	12769273,26	11840598,84	24609872,11	91474430,29	114340307,9
Sudoeste de Goiás	Palestina de Goiás	132068,3	67366,64	800	53893312	5928264,32	5497117,824	11425382,14	42467929,86	53084912,32
Sudoeste de Goiás	Perolândia	102962,2	68449,302	800	54759441,6	6023538,576	5585463,043	11609001,62	43150439,98	53938049,98
Sudoeste de Goiás	Portelândia	55064,6	26077,313	800	20861850,4	2294803,544	2127908,741	4422712,285	16439138,12	20548922,64
Sudoeste de Goiás	Rio Verde	838829,5	604339,059	800	483471247,2	53181837,19	49314067,21	102495904,4	380975342,8	476219178,5
Sudoeste de Goiás	Santa Helena de Goiás	112785,5	99560,78	800	79648624	8761348,64	8124159,648	16885508,29	62763115,71	78453894,64
Sudoeste de Goiás	Santa Rita do Araguaia	136176,4	69085,787	800	55268629,6	6079549,256	5637400,219	11716949,48	43551680,12	54439600,16
Sudoeste de Goiás	Santo Antônio da Barra	45159,6	29159,728	800	23327782,4	2566056,064	2379433,805	4945489,869	18382292,53	22977865,66
Sudoeste de Goiás	Serranópolis	552652,6	19363,278	800	15490622,4	1703968,464	1580043,485	3284011,949	12206610,45	15258263,06
TOTAL		5611153	2388214,004	800	1910571203	210162832,4	194878262,7	405041095,1	1505530108	1881912635
Vale do Rio do Bois	Acreúna	156598,9	105241,63	800	84193304	9261263,44	8587717,008	17848980,45	66344323,55	82930404,44
Vale do Rio do Bois	Campestre de Goiás	27381,6	8761,222	800	7008977,6	770987,536	714915,7152	1485903,251	5523074,349	6903842,936
Vale do Rio do Bois	Cezarina	41580,9	21527,922	800	17222337,6	1894457,136	1756678,435	3651135,571	13571202,03	16964002,54
Vale do Rio do Bois	Edealina	60365,2	38752,436	800	31001948,8	3410214,368	3162198,778	6572413,146	24429535,65	30536919,57
Vale do Rio do Bois	Edéia	146151,9	104242,549	800	83394039,2	9173344,312	8506191,998	17679536,31	65714502,89	82143128,61
Vale do Rio do Bois	Indiara	95647,3	68603,292	800	54882633,6	6037089,696	5598028,627	11635118,32	43247515,28	54059394,1
Vale do Rio do Bois	Jandaia	86410,4	53523,845	800	42819076	4710098,36	4367545,752	9077644,112	33741431,89	42176789,86
Vale do Rio do Bois	Palmeiras de Goiás	153968,3	113554,702	800	90843761,6	9992813,776	9266063,683	19258877,46	71584884,14	89481105,18
Vale do Rio do Bois	Palminópolis	38769,3	31643,769	800	25315015,2	2784651,672	2582131,55	5366783,222	19948231,98	24935289,97
Vale do Rio do Bois	Paraúna	378121,9	268530,855	800	214824684	23630715,24	21912117,77	45542833,01	169281851	211602313,7
Vale do Rio do Bois	São João da Paraúna	30535,7	23128,347	800	18502677,6	2035294,536	1887273,115	3922567,651	14580109,95	18225137,44
Vale do Rio do Bois	Turvelândia	93426	75739,034	800	60591227,2	6665034,992	6180305,174	12845340,17	47745887,03	59682358,79
Vale do Rio do Bois	Varjão	51902,9	10995,128	800	8796102,4	967571,264	897202,4448	1864773,709	6931328,691	8664160,864
TOTAL		1360860	924244,731	800	739395784,8	81333536,33	75418370,05	156751906,4	582643878,4	728304848

Nota: (i) Stu- área total da unidade. (ii) Sic- área de irrigação compulsória; (iii) 10 λ: lâmina de irrigação

ANEXO P – Balanço da demanda hídrica para o processamento industrial da produção potencial de cana-de-açúcar nas microrregiões de Meia Ponte e Quirinópolis.

DEMANDA HÍDRICA DO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DA PRODUÇÃO POTENCIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR (Dhp= Vag. Pmc. Sci)								
LOCALIZAÇÃO		ÁREAS		VOLUMES MÉDIOS				
Microrregião	Município	Stu	Sic	captado	lançado	usado	condensado	a ser captado
		ha	ha	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
Meia Ponte	Água Limpa	45285,6	16193,958	7254893,184	4922963,232	2331929,952	906861,648	20015732,09
Meia Ponte	Aloândia	10216	4029,25	1805104	1224892	580212	225638	4980153
Meia Ponte	Bom Jesus de Goiás	140521,8	128292,505	57475042,24	39000921,52	18474120,72	7184380,28	158569536,2
Meia Ponte	Buriti Alegre	89739,4	18274,972	8187187,456	5555591,488	2631595,968	1023398,432	22587865,39
Meia Ponte	Cachoeira Dourada	52113	41022,884	18378252,03	12470956,74	5907295,296	2297281,504	50704284,62
Meia Ponte	Caldas Novas	158951,8	83269,746	37304846,21	25314002,78	11990843,42	4663105,776	102921406,1
Meia Ponte	Cromínia	36991,7	13070,542	5855602,816	3973444,768	1882158,048	731950,352	16155189,91
Meia Ponte	Goiatuba	247510,7	205162,599	91912844,35	62369430,1	29543414,26	11489105,54	253580972,4
Meia Ponte	Inaciolândia	68839,8	58942,43	26406208,64	17918498,72	8487709,92	3300776,08	72852843,48
Meia Ponte	Itumbiara	246128	189652,409	84964279,23	57654332,34	27309946,9	10620534,9	234410377,5
Meia Ponte	Joviânia	45488,4	31207,179	13980816,19	9486982,416	4493833,776	1747602,024	38572073,24
Meia Ponte	Mairipotaba	46097,5	20942,158	9382086,784	6366416,032	3015670,752	1172760,848	25884507,29
Meia Ponte	Marzagão	22809,1	6742,722	3020739,456	2049787,488	970951,968	377592,432	8334004,392
Meia Ponte	Morrinhos	284619,1	144285,001	64639680,45	43862640,3	20777040,14	8079960,056	178336261,2
Meia Ponte	Panamá	43375,9	31640,506	14174946,69	9618713,824	4556232,864	1771868,336	39107665,42
Meia Ponte	Piracanjuba	240511,4	188258,281	84339709,89	57230517,42	27109192,46	10542463,74	232687235,3
Meia Ponte	Pontalina	142819,4	63360,777	28385628,1	19261676,21	9123951,888	3548203,512	78313920,37
Meia Ponte	Porteirão	60391,7	48972,494	21939677,31	14887638,18	7052039,136	2742459,664	60530002,58
Meia Ponte	Professor Jamil	34746,4	8431,212	3777182,976	2563088,448	1214094,528	472147,872	10420978,03
Meia Ponte	Rio Quente	25673,9	11105,723	4975363,904	3376139,792	1599224,112	621920,488	13726673,63
Meia Ponte	Vicentinópolis	73725,1	58428,966	26176176,77	17762405,66	8413771,104	3272022,096	72218201,98
TOTAL 21		2116556	1371286,314	614336268,7	416871039,5	197465229,2	76792033,58	1694909884
Quirinoplois	Cachoeira Alta	165434,3	113841,964	51001199,87	34607957,06	16393242,82	6375149,984	140708667,5
Quirinoplois	Caçu	225109,8	156368,561	70053115,33	47536042,54	22517072,78	8756639,416	193271541,4
Quirinoplois	Gouvelândia	83077	66828,038	29938961,02	20315723,55	9623237,472	3742370,128	82599454,97
Quirinoplois	Itajá	209139,4	60311,28	27019453,44	18334629,12	8684824,32	3377431,68	74544742,08
Quirinoplois	Itarumã	343361,9	146684,147	65714497,86	44591980,69	21122517,17	8214312,232	181301605,7
Quirinoplois	Lagoa Santa	45886,5	8956,082	4012324,736	2722648,928	1289675,808	501540,592	11069717,35
Quirinoplois	Paranaiguara	115378,6	74365,132	33315579,14	22607000,13	10708579,01	4164447,392	91915303,15
Quirinoplois	Quirinópolis	378017,3	286852,143	128509760,1	87203051,47	41306708,59	16063720,01	354549248,7
Quirinoplois	São Simão	41405,5	26892,637	12047901,38	8175361,648	3872539,728	1505987,672	33239299,33

Nota: (i) Stu- área total da unidade. (ii) Sic- área de irrigação compulsória; (iii) captado: 5,6 m³/tcana (80t/ha) ; (iv) lançado: 3,8 m³/tcana;(v) usado: 1,8 m³/tcana, (vi) condensado: 0,7m³/tcana; (vi) a ser captado: volume total.

ANEXO Q – Balanço da demanda hídrica para o processamento industrial da produção potencial de cana-de-açúcar nas microrregiões de Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois.

DEMANDA HÍDRICA DO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DA PRODUÇÃO POTENCIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR (Dhp= Vag. Pmc. Sci)								
LOCALIZAÇÃO		ÁREAS		VOLUMES MÉDIOS				
Microrregião	Município	Stu	Sic	captado	lançado	usado	condensado	a ser captado
		ha	ha	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
Sudoeste de Goiás	Aparecida do Rio Doce	60228,8	47853,456	21438348,29	14547450,62	6890897,664	2679793,536	59146871,62
Sudoeste de Goiás	Aporé	290034,4	0	0	0	0	0	0
Sudoeste de Goiás	Caiapônia	865318,9	290681,458	130225293,2	88367163,23	41858129,95	16278161,65	359282282,1
Sudoeste de Goiás	Castelândia	29742,8	25199,292	11289282,82	7660584,768	3628698,048	1411160,352	31146324,91
Sudoeste de Goiás	Chapadão do Céu	235482,2	0	0	0	0	0	0
Sudoeste de Goiás	Doverlândia	320754,3	138503,303	62049479,74	42105004,11	19944475,63	7756184,968	171190082,5
Sudoeste de Goiás	Jataí	717421,7	443077,859	198498880,8	134695669,1	63803211,7	24812360,1	547644233,7
Sudoeste de Goiás	Maurilândia	39379,3	35079,407	15715574,34	10664139,73	5051434,608	1964446,792	43358147,05
Sudoeste de Goiás	Mineiros	889630,4	279311,964	125131759,9	84910837,06	40220922,82	15641469,98	345229587,5
Sudoeste de Goiás	Montividiu	187461,1	145105,378	65007209,34	44112034,91	20895174,43	8125901,168	179350247,2
Sudoeste de Goiás	Palestina de Goiás	132068,3	67366,64	30180254,72	20479458,56	9700796,16	3772531,84	83265167,04
Sudoeste de Goiás	Perolândia	102962,2	68449,302	30665287,3	20808587,81	9856699,488	3833160,912	84603337,27
Sudoeste de Goiás	Portelândia	55064,6	26077,313	11682636,22	7927503,152	3755133,072	1460329,528	32231558,87
Sudoeste de Goiás	Rio Verde	838829,5	604339,059	270743898,4	183719073,9	87024824,5	33842987,3	746963076,9
Sudoeste de Goiás	Santa Helena de Goiás	112785,5	99560,78	44603229,44	30266477,12	14336752,32	5575403,68	123057124,1
Sudoeste de Goiás	Santa Rita do Araguaia	136176,4	69085,787	30950432,58	21002079,25	9948353,328	3868804,072	85390032,73
Sudoeste de Goiás	Santo Antônio da Barra	45159,6	29159,728	13063558,14	8864557,312	4199000,832	1632944,768	36041423,81
Sudoeste de Goiás	Serranópolis	552652,6	19363,278	8674748,544	5886436,512	2788312,032	1084343,568	23933011,61
TOTAL: 18		5611153	2388214,004	1069919874	726017057,2	343902816,6	133739984,2	2951832509
Vale do Rio do Bois	Acreúna	156598,9	105241,63	47148250,24	31993455,52	15154794,72	5893531,28	130078654,7
Vale do Rio do Bois	Campestre de Goiás	27381,6	8761,222	3925027,456	2663411,488	1261615,968	490628,432	10828870,39
Vale do Rio do Bois	Cezarina	41580,9	21527,922	9644509,056	6544488,288	3100020,768	1205563,632	26608511,59
Vale do Rio do Bois	Edealina	60365,2	38752,436	17361091,33	11780740,54	5580350,784	2170136,416	47898010,9
Vale do Rio do Bois	Edéia	146151,9	104242,549	46700661,95	31689734,9	15010927,06	5837582,744	128843790,6
Vale do Rio do Bois	Indiara	95647,3	68603,292	30734274,82	20855400,77	9878874,048	3841784,352	84793668,91
Vale do Rio do Bois	Jandaia	86410,4	53523,845	23978682,56	16271248,88	7707433,68	2997335,32	66155472,42
Vale do Rio do Bois	Palmeiras de Goiás	153968,3	113554,702	50872506,5	34520629,41	16351877,09	6359063,312	140353611,7
Vale do Rio do Bois	Palminópolis	38769,3	31643,769	14176408,51	9619705,776	4556702,736	1772051,064	39111698,48
Vale do Rio do Bois	Paraúna	378121,9	268530,855	120301823	81633379,92	38668443,12	15037727,88	331904136,8
Vale do Rio do Bois	São João da Paraúna	30535,7	23128,347	10361499,46	7031017,488	3330481,968	1295187,432	28586636,89
Vale do Rio do Bois	Turvelândia	93426	75739,034	33931087,23	23024666,34	10906420,9	4241385,904	93613446,02
Vale do Rio do Bois	Varjão	51902,9	10995,128	4925817,344	3342518,912	1583298,432	615727,168	13589978,21
TOTAL: 13		1360860	924244,731	414061639,5	280970398,2	133091241,3	51757704,94	1142366488

Nota: (i) Stu- área total da unidade. (ii) Sic- área de irrigação compulsória; (iii) captado: 5,6 m³/tcana (80t/ha) ; (iv) lançado: 3,8 m³/tcana;(v) usado: 1,8 m³/tcana, (vi) condensado: 0,7m³/tcana; (vi) a ser captado: volume total.

