



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro Biomédico  
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Cláudio Luís Souza Pinto

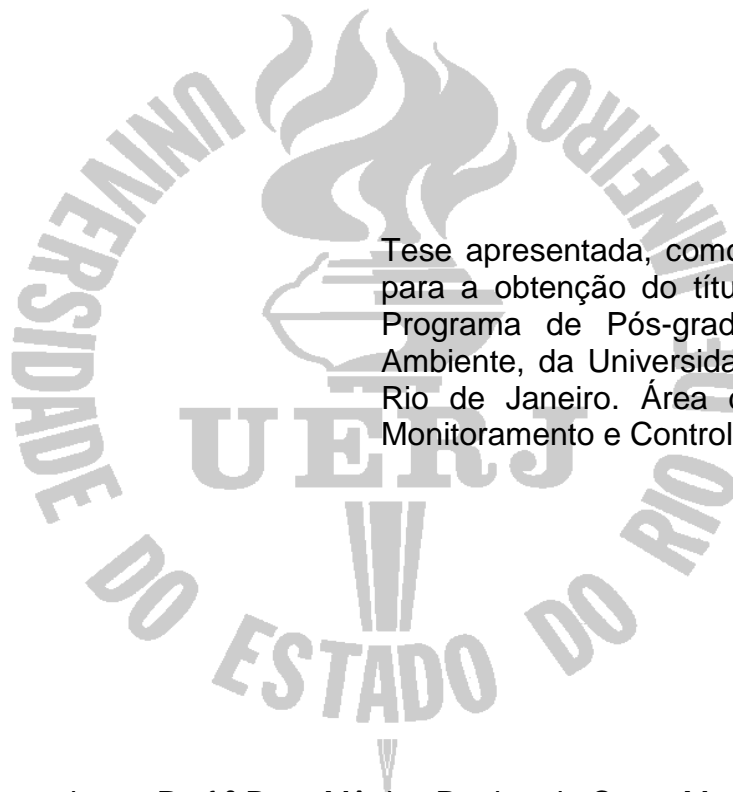
**Desenvolvimento de mudas de pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.)  
irrigado com águas residuárias da produção de biodiesel**

Rio de Janeiro

2016

Cláudio Luís Souza Pinto

**Desenvolvimento de mudas de pinhão-mansô (*Jatropha Curcas* L.) irrigado  
com águas residuárias da produção de biodiesel**



Tese apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Monitoramento e Controle Ambiental

Orientadores: Prof.<sup>a</sup> Dra. Mônica Regina da Costa Marques  
Prof. Dr. Daniel Vidal Pérez

Rio de Janeiro  
2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

P659 Pinto, Cláudio Luís Souza.  
Desenvolvimento de mudas de pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.) irrigado com águas residuárias da produção de biodiesel/ Cláudio Luís Souza Pinto. – 2016.  
f. : il.

Orientadora: Mônica Regina da Costa Marques  
Coorientador: Daniel Vidal Pérez  
Tese (Doutorado em Meio Ambiente ) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

1. Águas residuais – Teses 2. Pinhão-Manso – Irrigação - Teses. 3. Biodiesel – Teses. I. Marques, Mônica Regina da Costa . II. Pérez, Daniel Vidal. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Título.

CDU 628

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

---

Assinatura

---

Data

Cláudio Luís Souza Pinto

**Desenvolvimento de mudas de pinhão-mansô (*Jatropha Curcas* L.) irrigado  
com águas residuárias da produção de biodiesel**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Monitoramento e Controle Ambiental

Aprovada em 15 de março de 2016

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Mônica Regina da Costa Marques

Instituto de Química - UERJ

---

Prof. Dr. Daniel Vidal Pérez

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Solos)

---

Prof. Dr. Roberto Guimarães Pereira

Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Gabriel de Menezes

Instituto Federal do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Alexandre Andrade Serqueira

Instituto de Química - UERJ

---

Prof. Dr. Fábio Merçon

Instituto de Química - UERJ

Rio de Janeiro

2016

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Gerson Soares Pinto (*in memoriam*) e Maria Isabel de Souza Soares, à minha esposa Fabiane Carvalho Varela e aos meus filhos Renan Varela Pinto e Lucas Guilherme Varela Pinto, que sempre me apoiaram e incentivaram com muito amor para atingir este objetivo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade desta vida.

A Jesus Cristo, por ser o caminho, a verdade e a vida.

Aos meus mentores espirituais, a quem sempre busquei nas minhas orações por amparo.

À Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), pela oportunidade de realizar este curso.

Aos professores e técnicos administrativos do Programa de Pós-graduação Multidisciplinar em Meio Ambiente, pelos conhecimentos transmitidos e pela eficiência no atendimento.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Mônica Regina da Costa Marques, por sua amizade, sua dedicação na orientação e por acreditar que era possível a concretização deste sonho.

Ao Dr. Daniel Vidal Pérez, por sua atenção e orientações no andamento e na consolidação da tese.

À Embrapa Solos, por disponibilizar suas instalações e equipamentos para as análises dos solos e das mudas de pinhão-manso, bem como pelo fornecimento das sementes utilizadas.

À CESBRA e a seus funcionários Pedro Penedo, Emilson e todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão da tese.

Aos colegas de pesquisa Alexandre Cerqueira, Paulo Sérgio Souza e Michelle Rigo pelo apoio e sugestões no decorrer da tese.

Aos funcionários do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ) – Campus Pinheiral, Allana Isidorio do laboratório, Heider Franco, Fabiano, Erique e Zé Colméia do setor de viveiros de mudas, por colaborarem nas orientações do trabalho.

À direção atual e anterior do Campus Pinheiral do IFRJ, por ter concedido licença para conclusão da tese, respectivamente professores Reginaldo e Carlos Eduardo.

A minha esposa, em especial, pelo amor e dedicação a mim e a toda a família, me dando suporte emocional para poder me dedicar aos estudos.

Aos meus filhos Renan e Lucas, por existirem como Luz na minha vida.

Ao João Vitor, meu sobrinho, que, durante a minha recuperação cirúrgica, me levava para as aulas na UERJ e Fiocruz.

A todos os parentes e amigos, que, de alguma forma, direta ou indiretamente, me apoiaram nesta empreitada.

A todos os professores do PPGMA pelo aprendizado que me proporcionaram.

Aos membros da banca de defesa de tese e a comissão examinadora.

O conhecimento torna a alma jovem e diminui a amargura da velhice. Colhe, pois, a sabedoria. Armazena suavidade para o amanhã.

*Leonardo da Vinci*



## RESUMO

PINTO, Cláudio Luís Souza. Desenvolvimento de mudas de pinhão manso (*Jatropha Curcas* L.) irrigado com águas residuárias da produção de biodiesel. 2016. 105f. (Doutorado em Meio Ambiente) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a viabilidade do reuso de águas residuárias da fabricação de biodiesel, com alta concentração de potássio, na irrigação do pinhão manso destinado a produção de biodiesel. As águas foram fornecidas e coletadas em uma empresa produtora de biodiesel após o tratamento e caracterizadas quimicamente. A mesma foi preparada em quatro diluições (Tratamentos –T1(5%), T2 (10%),T3 (20%) e T4 (40%) ) em água e comparada com tratamento controle -T0 (água pura). Para os testes foram preparados vasos de 5L que receberam solo (argissolo) da região e sementes de pinhão manso, além da adubação mineral de macro nutriente. A adubação foi em duas parcelas: considerando o potássio na água residuária (adubação de nitrogênio e fósforo) e desconsiderando o potássio na água residuária (Adubação de nitrogênio, fósforo e potássio). Foram analisadas as variáveis do desenvolvimento das plantas como teste de germinação, crescimento de parte aérea e raiz e diâmetro do caule, assim como os macros e micronutrientes na massa fresca e seca das plantas. Os testes duraram 60 dias, período recomendado para as mudas irem para o campo. Os resultados demonstraram que é possível utilizar à água residuária nos tratamentos T1 e T2 que não diferem entre si a ( $p \leq 0,01$ ) e a ( $p \leq 0,05$ ) em substituição a adubação potássica mineral, comparando com o tratamento controle. Desta forma esta água pode ser utilizada na fertirrigação de pinhão manso em solos pobres de potássio.

Palavras-chave: Reuso de águas residuárias. Irrigação. Pinhão manso. Biodiesel.

## ABSTRACT

PINTO, Luiz Cláudio Souza. Development of irrigated jatropha seedlings with wastewater from biodiesel production. 2016 105f. (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

The objective of this work was to evaluate the feasibility of reuse of wastewater from the biodiesel production with high potassium concentration in the irrigation of the jatropha destined to biodiesel production. The waters were supplied and collected at a company producing biodiesel after treatment and chemically characterized. It was prepared in four dilutions (Treatments -T1 (5%), T2 (10%), T3 (20%) and T4 (40%)) in water and compared with control treatment -T0 (pure water). For the tests were prepared 5L vessels that received soil (ultisol) of the region and seeds of jatropha, in addition to mineral fertilization of macro nutrients. The fertilization was in two plots: considering the potassium in the wastewater (fertilization of nitrogen and phosphorus) and disregarding the potassium in the wastewater (Fertilization of nitrogen, phosphorus and potassium). The variables of the development of the plants were analyzed as germination test, shoot growth and root and stem diameter, as well as macros and micronutrients in the fresh and dry mass of the plants. The tests lasted 60 days, the recommended period for the seedlings to go into the field. The results showed that it is possible to use the wastewater in the T1 and T2 treatments, which do not differ between them ( $p \leq 0.01$ ) and ( $p \leq 0.05$ ) in substitution for the mineral potassium fertilization, when compared to the control treatment. In this way this water can be used in the fertigation of jatropha in poor soils of potassium.

Keywords: Reuse of wastewater. Irrigation. Jatropha. Biodiesel.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de matéria-prima para produção de biodiesel .....	29
Figura 2 – Etapas do processo de transesterificação.....	31
Figura 3 – Reação de transesterificação do triacilglicerídeos (triglicerídeos).....	32
Figura 4 – Frutos e sementes de pinhão- manso .....	34
Figura 5 – Floração do pinhão-manso.....	36
Figura 6 – Caule ramificado e esverdeado de pinhão-manso .....	36
Figura 7 – a) cacho de pinhão-manso com frutos verdes, maduros e secos, b) sementes e frutos maduros e c) fruto seco e suas sementes .....	37
Figura 8 – a) área com relevo local com declividade e vegetação de pasto e b) trincheira aberta em terço médio, côncavo e com 35% de declividade ....	48
Figura 9 – Mapa detalhado de solos da microbacia do córrego Nilo Peçanha – Pinheiral (RJ).....	49
Figura 10 – Incubadora .....	52
Figura 11 – Capela de fluxo laminar.....	53
Figura 12 – Casa de vegetação .....	55
Figura 13 – Corte de parte aérea (A); Moinho (B); Separação de raízes do solo (C).....	58
Figura 14 – Solo em processo de secagem.....	59
Figura 15 – Vasos com solo e sementes na casa de vegetação .....	69
Figura 16 – Vaso com adubos minerais (A), sementes de pinhão-manso passando por desinfecção (B), vaso recebendo quatro sementes para germinação (C) e vaso com solo nas bancadas na casa de vegetação (D) .....	75
Figura 17 – Mudanças pinhão–manso plantadas nos vasos com adubação NP (A) e NPK (B) de (T-0 a T-4) na repetição um (R1) .....	75

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Média e desvio padrão do percentual de plântulas germinadas (PG).....	66
Gráfico 2 – Médias de plântulas normais .....	67
Gráfico 3 – A) Médias do índice de velocidade de germinação de sementes (IVG) e .....	67
Gráfico 4 – a) médias do comprimento de raízes (CR) e b) médias do comprimento .....	68
Gráfico 5 – Médias de altura de parte aérea (APA).....	71
Gráfico 6 – Médias do diâmetro do caule (DC) .....	72
Gráfico 7 – Médias do comprimento de raiz (CR) .....	72
Gráfico 8 – a) médias do peso fresco de parte aérea (PFPA) e do peso seco de.....	74
Gráfico 9 – Médias de altura de parte aérea (APA).....	77
Gráfico 10 – Média do diâmetro do caule.....	77
Gráfico 11 – Médias do comprimento de raiz.....	78
Gráfico 12 – Médias do peso fresco de parte aérea (PFPA) e do peso seco de parte .....	79
Gráfico 13 – Médias do peso fresco de raiz (PFR) e do peso seco de raiz (PSR) .....	80
Gráfico 14 – Médias dos teores de nitrogênio (N) em partes aéreas e em raízes .....	84
Gráfico 15 – Médias dos teores de fósforo (P) em partes aéreas e em raízes .....	85
Gráfico 16 – Médias dos teores de potássio (K) em partes aéreas e em raízes.....	86
Gráfico 17 – Médias dos teores de cálcio (Ca) em partes aéreas e em raízes.....	88
Gráfico 18 – Médias dos teores de magnésio (Mg) em partes aéreas e em raízes ....	89
Gráfico 19 – Médias dos teores de cobre (Cu) em partes aéreas e em raízes .....	90
Gráfico 20 – Médias dos teores de ferro (Fe) em partes aéreas e em raízes .....	91
Gráfico 21 – Médias dos teores de manganês (Mn) em partes aéreas e em raízes.....	93
Gráfico 22 – Médias dos teores de zinco (Zn) em partes aéreas e em raízes .....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equipamentos utilizados no experimento .....	46
Tabela 2 – Tratamentos aplicados no teste de germinação .....	51
Tabela 3 – Caracterização da água residuária.....	60
Tabela 4 – Caracterização química do solo .....	63
Tabela 5 – Fórmulas dos parâmetros de fertilidade: valores de S, T, V e saturação com alumínio .....	64
Tabela 6 – Concentrações de micronutrientes e de metais tóxicos presentes no solo estudado .....	64
Tabela 7 – Teste de médias (Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade) da interação entre cinco tratamentos e variáveis do teste de germinação .....	65
Tabela 8 – Teste de médias (Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade) da interação .....	70
Tabela 9 – Análise multivariada e teste de médias (Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade) da interação entre cinco tratamentos, adubação e variáveis de crescimento .....	76
Tabela 10 – Médias das análises químicas dos solos conforme o tratamento aplicado.....	81
Tabela 11 – Análise multivariada e teste de médias (Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade) da interação entre cinco tratamentos, adubação e macro e micronutrientes de partes aéreas .....	82
Tabela 12 – Análise multivariada e teste de médias (Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade) da interação entre cinco tratamentos, adubação e macro e micronutrientes de raízes .....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	graus Celsius
AAS	espectrometria de absorção atômica
ANA	Agência Nacional de Águas
Anova	análise de variância
ANP	Agência Nacional do Petróleo
APA	altura de parte aérea
Cl	cromatografia de íons
cm	centímetro
cmolc	centimol de carga
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
Coelce	Companhia de Eletricidade do Ceará
Corg	carbono orgânico do solo
CR	comprimento de raiz
CTC	capacidade de troca catiônica
CTCT	Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia
CT-UFC	Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará
DAS	dias após semeadura
DBO	demanda bioquímica de oxigênio
DC	diâmetro de caule
DQO	demanda química de oxigênio
EDTA	ácido etilenodiamino tetra-acético
g	grama
GT	grupo de trabalho
h	hora

IFRJ	Instituto Federal do Rio de Janeiro
IVE	índice de velocidade de emergência
IVG	índice de velocidade de germinação
kg	quilograma
L	latitude Norte
L	litro
Mapa	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
mg	miligrama
mm	milímetro
N	latitude Sul
NP	nitrogênio e fósforo
NPK	nitrogênio, fósforo e potássio
Nutec	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial
O&G	óleos e graxas
OD	oxigênio dissolvido
Opep	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
P.A.	Pureza Analítica
PFPA	peso fresco de parte aérea
PFR	peso fresco de raiz (PFR)
PG	plantas germinadas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PN	plântulas normais
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
Pró-óleo	Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos
PSPA	peso seco parte aérea (PSPA)

PSR	peso seco de raiz (PSR)
PST	porcentagem de sódio trocável
RNC	Registro Nacional de Cultivares
S/A	Sociedade Anônima
SRM-NIST	Standard Reference Materials – National Institute of Standards and Technology
STD	sólidos totais dissolvidos
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UTM	Universal Transversa de Mercator



## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	20
1	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	22
1.1	<b>Águas residuárias</b> .....	22
1.1.1	<u>Reuso de águas residuárias na agricultura</u> .....	23
1.2	<b>O Biodiesel</b> .....	25
1.2.1	<u>Biodiesel no Brasil</u> .....	26
1.2.2	<u>Matéria-prima</u> .....	30
1.2.2.1	Óleo vegetal .....	29
1.2.2.2	Gorduras de origem animal.....	30
1.2.3	<u>Processos de produção do biodiesel</u> .....	30
1.2.4	<u>Água residuária de biodiesel</u> .....	32
1.3	<b>Pinhão-manso</b> .....	34
1.3.1	<u>Aspectos botânicos da cultura</u> .....	35
1.3.2	<u>Aspectos econômicos</u> .....	37
1.3.3	<u>Cultivo do pinhão-manso</u> .....	40
1.4	<b>Irrigação com águas residuárias</b> .....	40
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	43
2.1	<b>Objetivo geral</b> .....	43
2.1.1	<u>Objetivos específicos</u> .....	43
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	46
3.1	<b>Reagentes e produtos químicos</b> .....	44
3.2	<b>Equipamentos</b> .....	45
3.3	<b>Análise da água residuária da fabricação do biodiesel</b> .....	46
3.3.1	<u>Procedimentos</u> .....	46

3.3.1.1	Demanda química de oxigênio (DQO) .....	46
3.3.1.2	pH.....	47
3.3.1.3	Salinidade .....	47
3.3.1.4	Sólidos Totais Dissolvidos (STD) .....	47
3.3.1.5	Óleos e graxas (O&G).....	47
3.3.1.6	Concentrações de cátions e ânions por cromatografia de íons (CI).....	47
3.3.1.7	Concentrações de metais por espectrometria de absorção atômica de chama (AAS).....	50
3.4	<b>Caracterização do solo utilizado no experimento com os vasos ..</b>	<b>50</b>
3.4.1	<u>Procedimentos</u> .....	50
3.5	<b>Teste de germinação de sementes .....</b>	<b>51</b>
3.5.1	<u>Procedimentos</u> .....	53
3.6	<b>Produção de mudas até 60 dias após semeadura (DAS).....</b>	<b>54</b>
3.6.1	<u>Procedimentos</u> .....	57
3.6.1.1	Preparo das sementes .....	55
3.6.1.2	Preparo do solo e vasos.....	56
3.7	<b>Análise dos teores de macro e micronutrientes nas plantas e nos solos .....</b>	<b>57</b>
3.7.1	<u>Coleta de dados das variáveis de crescimento das plantas</u> .....	57
3.7.2	<u>Coleta de solo para análise</u> .....	60
3.8	<b>Análise estatística .....</b>	<b>59</b>
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>60</b>
4.1	<b>Análise da água residuária .....</b>	<b>60</b>
4.2	<b>Análise do solo utilizado no experimento com os vasos .....</b>	<b>62</b>
4.2.1	<u>Caracterização do solo</u> .....	63

4.2.2	<u>Composição do complexo sortivo</u> .....	63
4.3	<b>Teste de germinação de sementes</b> .....	64
4.4	<b>Produção de mudas até 60 DAS e coleta de dados de crescimento</b> .....	69
4.4.1	<u>Produção de 20 mudas nos vasos com solo sem intervenção de calagem e adubação mineral</u> .....	70
4.4.1.1	Altura de parte aérea (APA) .....	71
4.4.1.2	Diâmetro do caule (DC).....	71
4.4.1.3	Comprimento de raiz (CR) .....	72
4.4.1.4	Peso fresco parte aérea (PFPA) e peso seco de parte aérea (PSPA) .....	73
4.4.2	<u>Produção de 40 mudas nos vasos com solo que recebeu calagem e adubação mineral: 20 vasos receberam NPK; 20 vasos receberam NP, sem adição do potássio</u> .....	74
4.4.2.1	Altura de parte aérea (APA) .....	76
4.4.2.2	Diâmetro do caule (DC).....	77
4.4.2.3	Comprimento de raiz (CR) .....	80
4.4.2.4	Peso fresco de parte aérea (PFPA) e peso seco de parte aérea (PSPA) .....	79
4.4.2.5	Peso fresco de raiz (PFR) e peso seco de raiz (PSR) .....	80
4.5	<b>Análise dos teores de macro e micronutrientes nas plantas e nos solos</b> .....	81
4.5.1	<u>Análise dos teores de macro e micronutrientes nos solos</u> .....	81
4.5.2	<u>Análise dos teores de macro e micronutrientes nas partes aéreas e nas raízes</u> .....	81

4.5.3	<u>Teores de nitrogênio (N)</u> .....	83
4.5.4	<u>Teores de fósforo (P)</u> .....	84
4.5.5	<u>Teores de potássio (K)</u> .....	85
4.5.6	<u>Teores de cálcio (Ca)</u> .....	87
4.5.7	<u>Teores de magnésio (Mg)</u> .....	90
4.5.8	<u>Teores de cobre (Cu)</u> .....	89
4.5.9	<u>Teores de ferro (Fe)</u> .....	91
4.5.10	<u>Teores de manganês (Mn)</u> .....	92
4.5.11	<u>Teores de zinco (Zn)</u> .....	93
	<b>CONCLUSÕES</b> .....	95
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	96

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as questões ambientais tem feito parte da pauta de reuniões que envolvem diversos níveis da sociedade. Governos, empresários, pesquisadores e a população em geral tem se preocupado com os impactos gerados pelos processos produtivos e, não menos importante, com a escassez dos recursos naturais. Entretanto, muitas destas reuniões não conseguem resolver, ou pelo menos, minimizar os conflitos ambientais gerados pelo modelo produtivo do sistema capitalista, o consumo exacerbado. Tudo isso tem causado impactos no solo, no ar e nas águas do planeta, realidade que traz à tona a difícil solução para a complexa questão entre a produção fabril e o destino dos resíduos gerados. Além destas demandas, contribuem para a escassez e a poluição da água o aumento da utilização desse recurso com qualidade para o consumo e lazer humano, para a dessedentação e abate dos animais, e para a produção de vegetais destinados à alimentação, à geração de energia e às indústrias em geral (BOUWER, 2000). O governo brasileiro tem criado meios de proteger este bem, por meio de leis e resoluções, entre outros mecanismos, como aumentar a fiscalização nas atividades potencialmente poluidoras. Outra forma de diminuir a pressão sobre este recurso tem sido incentivar o uso de águas de qualidade inferior e o reuso de águas residuárias para diminuir a supressão na sua qualidade e a sua escassez (HESPANHOL, 2002).

Segundo Hespanhol (2002), águas de qualidade inferior, tais como efluentes de processos industriais e de esgotos domésticos, águas de drenagem agrícola e águas salobras devem, sempre que possível, ser consideradas fontes alternativas para uso menos restritivos, assim diminuir os impactos e seu custo de tratamento. Existem vários meios de se utilizar as águas residuárias, um dos destinos é sua utilização na irrigação de algumas espécies de plantas não comestíveis, principalmente as utilizadas para fins energéticos. Para tanto, deve haver uma avaliação que garanta uma segurança sanitária e ambiental. É sabido que, na caracterização das águas residuárias, alguns parâmetros necessitam de tratamento ou remoção para não causarem danos ambientais.

Conforme Ayers e Westcot (1999), nas águas residuárias, encontramos totais de sais dissolvidos, a presença de íons tóxicos e concentrações relativas de sódio

que algumas espécies não toleram. Além disso, sem os devidos cuidados, podemos contaminar solos e lençóis freáticos da região em questão.

Nos últimos anos, encontra-se no meio acadêmico algumas pesquisas propondo o uso de águas residuárias na irrigação de plantas para produção de energia, já que as exigências com relação à segurança sanitária são menores. Apesar dos importantes avanços na utilização destas águas e das inovações tecnológicas na produção industrial no que diz respeito a esse uso, o mesmo envolve análises de caracterização das águas, o efeito sobre o desenvolvimento das plantas e os impactos ambientais que pode causar ao meio ambiente.

Espécies como o pinhão-mansão vêm despertando interesse no seu cultivo já que há o incentivo do governo para a produção de biodiesel (ARRUDA, 2009). Assim este trabalho busca analisar a aplicação de água residuária da produção de biodiesel na irrigação ou fertirrigação do pinhão manso.

## 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Águas residuárias

Um dos maiores impactos ao meio ambiente é o descarte de resíduos de processos industriais e domésticos nos rios, lagos, mares e oceanos, prática que vem causando um grande dano ambiental ao planeta (BOUWER, 2000).

O elevado consumo de água para abastecimento residencial, processos industriais e atividades agropecuárias já leva ao comprometido da qualidade e da quantidade disponível desse recurso. Por meio de legislação específica, os governos tentam minimizar os impactos ambientais causados por essas atividades (NOBRE et al., 2010). Estas iniciativas ocorrem de forma que se evite o desperdício, se preservem os corpos hídricos, se desenvolvam novas tecnologias de tratamento e as águas residuárias de processos produtivos sejam reutilizadas (LAZAROVA et al., 2000).

A viabilidade na reutilização das águas residuárias ocorre a partir do direcionamento de águas enquadradas na legislação ambiental e sanitária (HOEK et al., 2002). Desta forma, as práticas de reuso, reaproveitamento, reciclagem, gestão de consumo, redução de desperdício e gestão de efluentes visam mitigar e/ou minimizar os impactos ao meio ambiente (NOBRE et al., 2010).

Desde o início do século XX, a utilização da água foi objeto de regulamentação no Brasil. Uma das primeiras leis a tratar sobre as águas foi o decreto n. 24.643/1934, conhecido como Código das Águas. Sua aplicação juntamente com a evolução dos problemas sociais, ambientais e econômicos do país possibilitou mudanças no modelo de gestão pública e novas normas legais (HESPANHOL, 2002). De acordo com evolução histórica sobre o uso da água no Brasil, seguem alguns dos principais diplomas legais a partir do Código das Águas brasileiro, quais sejam:

- Código de Águas Minerais, que classificou e disciplinou o uso das águas minerais.

- Constituição Federal de 1988, que permitiu aos Estados e à União criar seus sistemas de gestão.
- Política Nacional de Águas (Lei n. 9.433/97).
- Legislações Estaduais de Gestão de Águas.
- Criação da Agência Nacional de Águas (ANA).

A partir da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), institui-se o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, com a participação das partes interessadas, sociedade, governos e setor privado. Na forma de um colegiado, o conselho é formado por dez câmaras técnicas, entre as quais está a Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia (CTCT). Desta câmara, forma-se um grupo de trabalho (GT) especificamente para a regulamentação e institucionalização da prática do reuso não potável de água em todo o território brasileiro. Um dos resultados deste trabalho foi a aprovação da Resolução n. 54, de 28 de novembro de 2005, que dispõe sobre o reuso direto não potável de água e define as diretrizes legais para a prática. Tal documento resolve:

Art. 1º Estabelecer modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentem e estimulem a prática de reuso direto não potável de água em todo o território nacional.

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratadas ou não;

II - reuso de água: utilização de água residuária;

III - água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;

IV - reuso direto de água: uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

V - produtor de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reuso;

VI - distribuidor de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reuso; e VII - usuário de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reuso.

### 1.1.1 Reuso de águas residuárias na agricultura

O reuso de águas residuárias ganhou mais atenção a partir da escassez hídrica causada pela devastação da Segunda Guerra Mundial nos países desenvolvidos, isto ocorreu para atender as suas necessidades sociais e



econômicas (SHUVAL, 1992). Conseqüentemente, houve um aumento no interesse técnico de tratamento e aplicação das mesmas (PAGANINI, 1997).

A reutilização de águas não potáveis aumentou significativamente, principalmente as de esgotos domésticos para fins agrícolas (HESPANHOL, 2003). Em função de alguns fatores, a água de reuso se tornou atrativa para ser aplicada em diversas culturas agrícolas, conforme as razões a seguir:

- Disponibilidade de grandes volumes de águas descartadas.
- Concentração de macro e micronutrientes disponíveis nas águas de reuso.
- Receptividade social para a prática do reuso em culturas agrícolas.

A questão ambiental envolvida no reuso de águas residuárias também pesa na sua aceitação, pois, em todo o mundo, a agricultura é uma atividade com grande demanda por água, e, assim, tal prática diminui a pressão por esse bem (HESPANHOL, 2003). Por outro lado, para se utilizarem estas águas, se faz necessário analisar alguns riscos para a saúde do homem quanto ao seu manuseio ou quanto à qualidade dos alimentos por meio dela produzidos (DOBROWOLSKI et al., 2008; PEDRERO et al., 2010).

Além das questões relacionadas a saúde das pessoas, outras preocupações com o uso das águas de reuso também fazem parte da pauta. São aspectos como o aumento da salinidade do solo, a disposição de metais pesados e a lixiviação de nutrientes dos solos (AYERS; WESTCOT, 1985). Portanto, deve-se avaliar se as águas estão em conformidade com a legislação que permite seu descarte, para evitar que metais pesados, pesticidas, elementos patógenos, sólidos dissolvidos, entre outros, possam colocar em risco a saúde do homem e do planeta (AYERS; WESTCOT, 1985). Diante desta situação, busca-se meios de tratamento, para transformá-las em águas adequadas para a produção agrícola (REBHUN, 2004).

A utilização das águas residuárias na irrigação deve atender algumas especificidades de acordo com a regulamentação em vigência. Elas se diferem em detalhes, em função do tipo de cultura, do tipo de sistema de irrigação e dos parâmetros de qualidade.

## 1.2 O Biodiesel

No fim do século XIX, a utilização de óleos de origem vegetal e animal como combustíveis para motores do ciclo diesel foram impulsionados quando, em 1898, na Feira Mundial de Paris, Rudolf Diesel (1858-1913) apresentou um motor abastecido com óleo de amendoim (LUCENA, 2004). Desde então, várias pesquisas foram impulsionadas para novas fontes de matéria-prima, até que, no início do século XX, foi criado o óleo diesel pela indústria do petróleo.

Os biocombustíveis foram utilizados e pesquisados no começo do século. Porém, a primeira patente para óleos vegetais foi para o óleo de palmas, em Bruxelas, Bélgica, em 1937. No ano seguinte, surge também na Bélgica outra patente para uso comercial de combustível a partir de óleos vegetais nos coletivos da linha Bruxelas-Lovaina (RATHMANN et al., 2007).

Se compararmos a produção de biocombustíveis gerados a partir de matérias-primas agrícolas com combustíveis derivados do petróleo, os primeiros eram caros de se produzir, por fatores tanto econômicos como ambientais (HOLANDA, 2004). Desse modo, o petróleo tornou-se a principal fonte energética para motores de combustão interna, tanto em veículos automotores como em geradores de energia elétrica (motores estacionários).

Nesse contexto, a firme retomada das pesquisas sobre fontes renováveis de energia obtidas a partir da biomassa vegetal somente aconteceu na década de 1970, motivada pela crise do petróleo, com a elevação no preço do barril de petróleo comandada pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep) (RAMOS, 1999). Assim, alguns países passaram a transferir parte de seus recursos e esforços para a superação desse período de crise energética, fazendo surgir dois grupos de ações: o da conservação ou economia de energia (uso eficiente) e o do uso de fontes alternativas de energia (PARENTE, 2003). A partir desta conjuntura mundial, alguns países introduziram políticas públicas para inserção dos biocombustíveis, em especial o biodiesel, nas suas matrizes energéticas.

O biodiesel passa a figurar como opção interessante e promissora reunindo aspectos ambientais, sociais e econômicos. Segundo Holanda (2004) alguns dos principais fatores para o aumento do interesse pela cadeia produtiva do biodiesel estão relacionados com: a) oscilação do preço do petróleo e seus derivados; b)

vantagens na mitigação de emissões de CO<sub>2</sub>; c) captação de recursos internacionais por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O biodiesel, conhecido combustível biodegradável e produzido de diferentes fontes de matéria-prima, entre gordura animal e óleos vegetais, é produzido da conversão de triacilglicerídeos em ésteres de ácidos graxos através de processos de transesterificação, craqueamento e esterificação (JUNG; KITTELSON; ZACHARIA, 2006).

Com propriedades similares ao diesel derivado do petróleo, o biodiesel apresenta vantagens por ser renovável e não tóxico e biodegradável (PARENTE, 2003). Vantagens importantes como a redução de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contribuindo para redução de gases que aumentam o efeito estufa. Outra grande contribuição está relacionada ao ciclo fechado de carbono, o que se dá desde o cultivo da matéria-prima até a produção do biocombustível (BIODISELBR, 2007).

Dentro da perspectiva do uso do biodiesel, podemos citar algumas vantagens e desvantagens mais significativas no seu uso comercial (WANG et al., 2000):

a) vantagens

- Combustão limpa e sem formação de SO<sub>2</sub> ou de compostos cancerígenos (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos);
- Composição química homogênea, o que favorece a combustão mais completa;
- Ciclo fechado do carbono (do cultivo da planta à sua queima), entre outras vantagens ligadas às questões ambientais.

b) desvantagens

- O custo de produção ainda é alto se comparado com o diesel;
- Ocorre o aumento da viscosidade do óleo em baixas temperaturas;
- Elevada demanda de água na sua produção;
- Ponto de névoa e fluidez.

### 1.2.1 Biodiesel no Brasil

No Brasil, o uso do diesel derivado do petróleo na matriz energética é de aproximadamente 19%, sendo 48% destes no uso de transportes (BRASIL, 2014). Na linha do tempo, desde a crise energética mundial na década de 1970, houve um incentivo às pesquisas para diminuir essa dependência.

Na década de 1980, foi anunciado um projeto para se desenvolverem pesquisas com o biodiesel. Deste projeto, participaram: Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial (Nutec), Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará (CT-UFC), Departamento de Transportes da Companhia de Eletricidade do Ceará (Coelce) e o Centro Técnico Aeroespacial (CTA) do Ministério da Aeronáutica (PARENTE, 2003). O objetivo era o uso comercial de óleos vegetais como combustível tendo em vista a substituição parcial ou total do óleo diesel. Foi criado, para dar diretrizes a essa ação, o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-óleo) (Brasil, 2009). Depois de anos de pesquisas e a primeira ação para consolidar o biodiesel no Brasil, o marco regulatório foi a Medida Provisória n. 214, de 13 de setembro de 2004, que criou a figura jurídica do biodiesel na matriz energética brasileira.

Essa medida delegou competência à Agência Nacional do Petróleo (ANP) para promover a regulação, autorização, contratação e fiscalização da produção e comercialização de biodiesel no mercado nacional.

Após o lançamento oficial do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) em dezembro de 2004 pelos Decretos n. 5.297 e 5.298, de 6 de dezembro de 2004, Decreto n. 5.448, de 20 de maio de 2005, e Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005, o programa apresentava as seguintes diretrizes:

- Introdução sustentável do biodiesel na matriz energética;
- Geração de emprego e renda, em particular para a agricultura familiar, por meio do fornecimento das matérias-primas;
- Redução das disparidades regionais, com vistas ao desenvolvimento das regiões mais carentes do país: Norte e Nordeste (Semiárido);
- Contribuir para redução das emissões de poluentes;
- Promover a redução da importação de óleo diesel;
- Disponibilizar incentivos fiscais e a implementação de políticas públicas direcionadas a produtores localizados nas regiões mais carentes,

propiciando financiamento e assistência técnica, para que se possa alcançar a sustentabilidade econômica, social e ambiental da produção de biodiesel e;

- Propiciar uma regulamentação que seja flexível, no sentido, de permitir o uso de distintas matérias-primas (plantas oleaginosas) e rotas tecnológicas (transesterificação etílica ou metílica, craqueamento térmico etc.).

O programa estabelecia a obrigatoriedade da mistura inicial de 5% de biodiesel ao óleo diesel a ser alcançada no prazo de 8 anos, sendo de 3 anos o período para a utilização de um percentual em caráter obrigatório e intermediário de 2% (BRASIL, 2005).

### 1.2.2 Matéria-prima

A partir do funcionamento do motor abastecido com óleo de amendoim por Rudolf Diesel, outras fontes de matéria-prima foram testadas e consolidadas para a produção do biodiesel. Óleos vegetais como os de soja, canola, mamona, dendê, amendoim, algas, algodão, palma, babaçu e pinhão-manso fazem parte da diversidade de matéria-prima utilizada na produção de biodiesel (PARENTE, 2003).

Outra fonte de matéria-prima muito utilizada é a gordura animal semelhante aos óleos vegetais, porém, com diferenças nos tipos de ácidos graxos combinados com o glicerol (PARENTE, 2003).

O Brasil, país de grandes extensões de terras agricultáveis, é potencialmente um grande produtor de matéria-prima para a produção de biocombustíveis. Este dado fica evidenciado na Figura 1, com a distribuição da produção de matérias-primas e sua localização.

Figura 1 – Distribuição de matéria-prima para produção de biodiesel

*Atlas do Biodiesel - Potencialidade brasileira para produção e consumo de combustíveis vegetais*  
*Biodiesel Atlas - Brazil's potential for production and consumption of vegetable fuel*



(Fonte: BIODIESELBR, 2013)

### 1.2.2.1 Óleo vegetal

Diferente do que muitos pensam, nem todo óleo vegetal serve para se produzir biodiesel. Características como a alta viscosidade ou o alto teor de iodo os tornam inadequados no uso direto em motores do ciclo diesel. A viabilidade do seu

uso dependerá de aspectos como competitividade técnica, econômica e socioambiental (RAMOS, 1999; RAMOS et al, 2003).

As oleaginosas mais comuns na produção de biodiesel são: soja, mamona, girassol, algodão, palma, dendê, milho, babaçu, amendoim, canola e microalgas. Os óleos destas oleaginosas são extraídos das sementes, amêndoas ou polpas, por meio de prensagem (PARENTE, 2003).

#### 1.2.2.2 Gorduras de origem animal

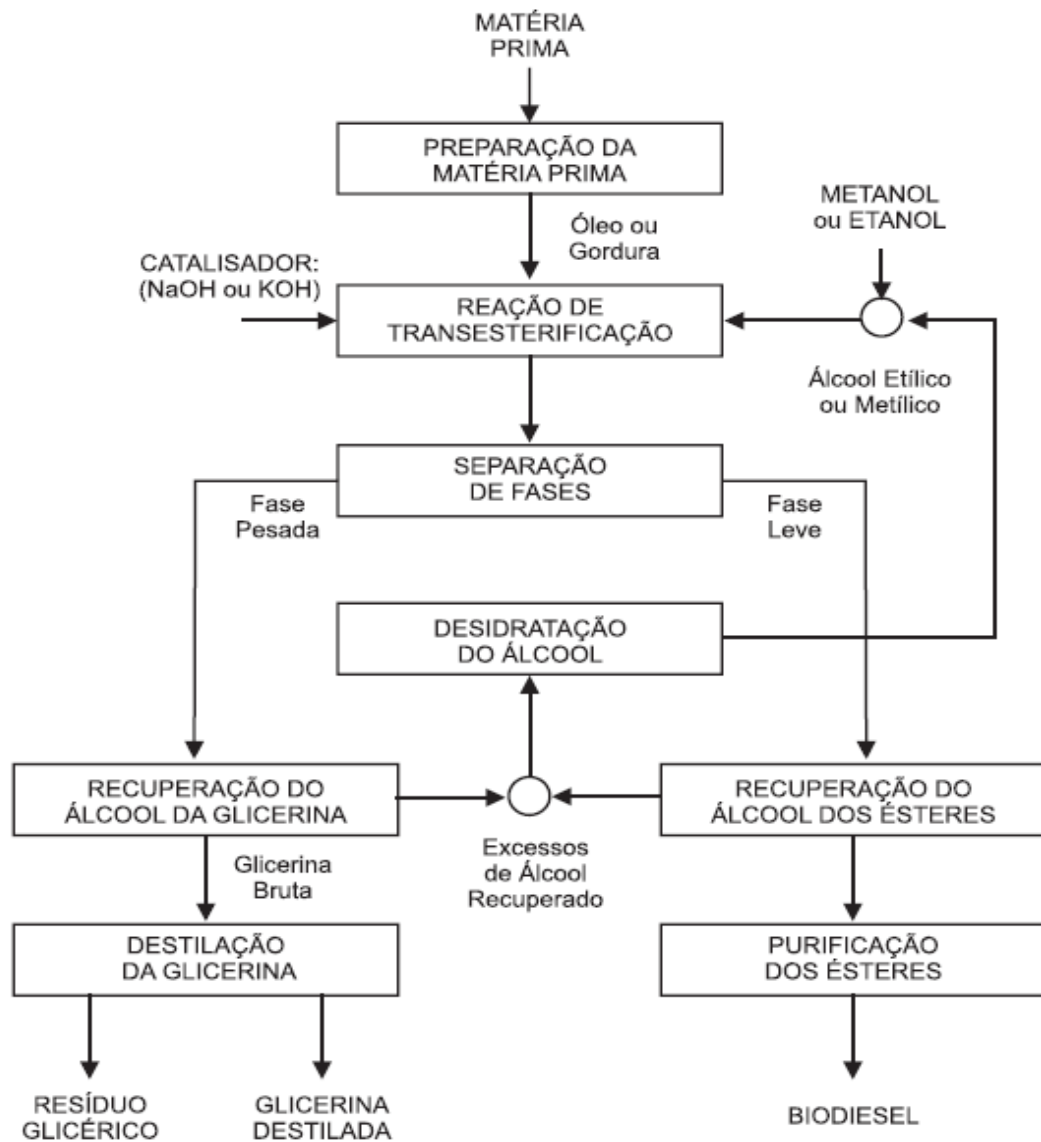
As gorduras de origem animal usualmente empregadas na produção de biodiesel podem sofrer processamentos domésticos, comerciais ou industriais. Dentre as mais utilizadas, podemos citar sebo bovino, óleo de peixe, banha de porco e esgotos de abatedouros ou de processamento de alimentos (Dias, Alvim-Ferraz e Almeida, 2008).

#### 1.2.3 Processos de produção do biodiesel

Para se produzir o biodiesel de forma comercial são empregados processos tais como transesterificação, hidroesterificação, craqueamento térmico, transesterificação enzimática, transesterificação supercrítica e esterificação de borras ácidas (Korbitz, 1999).

O processo predominante na produção de biodiesel no Brasil é a reação denominada transesterificação (PARENTE, 2003). Este processo consiste em uma reação de triglicerídeos com um álcool de cadeia curta (etanol ou metanol) na presença de um catalisador básico ou ácido gerando uma mistura de ésteres alquílicos (o biodiesel), de ácidos graxos e glicerol como subproduto (PARENTE, 2003; FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005). Conforme Parente (2003) as etapas do processo de transesterificação são apresentadas no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 – Etapas do processo de transesterificação

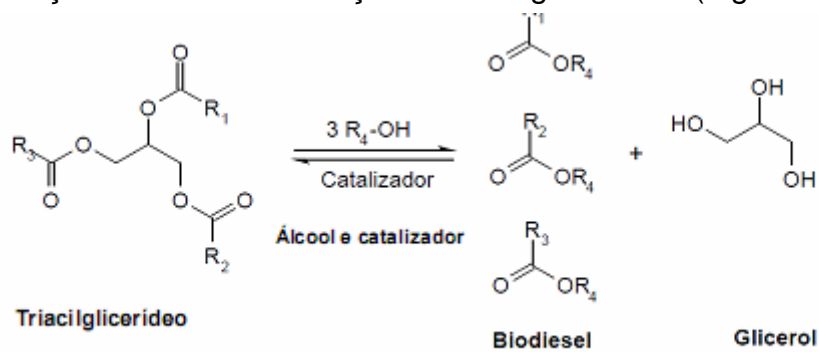


Fonte: Parente (2003)

No processo de transesterificação, para cada 1 mol de triglicerídeo, são formados 3 mol de ésteres e 1 mol de glicerol. Com isto, conforme Suarez e Meneghetti (2007), ocorrerá uma redução significativa da alta viscosidade dos triglicerídeos (Figura 3).



Figura 3 – Reação de transesterificação do triacilglicerídeos (triglicerídeos)



(Fonte: Suarez e Meneghetti (2007))

A partir da obtenção do biodiesel, composto por ésteres etílicos ou metílicos, forma-se também um subproduto mais pesado que corresponde a aproximadamente 10% do volume total de biodiesel produzido, que o é o glicerol (DASARI et al., 2005). Após esta etapa, o biodiesel necessita passar por um processo de purificação que consiste na retirada, por meio de decantação ou de centrifugação, dos teores de ácidos graxos livres, álcool, glicerina e água (NOUREDDINI, 2001).

A purificação do biodiesel consiste na sua lavagem com água. Neste processo, as impurezas do biodiesel solúveis em água são agitadas e posteriormente separadas por meio de filtração e secagem. Desta forma, obtém-se o biodiesel puro de um lado e, do outro, os resíduos de sabões de sódio ou potássio, assim como os ácidos graxos e glicerina (NOUREDDINI, 2001).

#### 1.2.4 Água residuária de biodiesel

No processo de purificação do biodiesel, os resíduos de glicerina, mono-, di-, triglicerídeos, metanol e os seus sais são separados por meio de lavagem. Este processo é repetido mais de uma vez, dependendo da quantidade de impurezas presentes. Em média, para cada 100 litros de biodiesel produzidos, o volume de águas residuais pode chegar a 120 litros (MARCHETTI; MIGUEL; ERRAZU, 2007; PHUKINGNGAM; DARARAT; CHAVALPARIT, 2008).

Uma característica das águas residuais da fabricação do biodiesel é que elas apresentam valores elevados de óleos, sólidos totais e de baixa concentração de

nitrogênio, dificultando a degradação de forma natural por inibir o crescimento de microrganismos (JARUWAT; KONGJAO; HUNSOM, 2010). Outro fator de grande relevância ambiental é que estas águas apresentam características químicas que necessitam de tratamento para serem lançadas nos corpos hídricos (NOUREDDINI, 2001).

Por apresentarem elevados valores de demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e óleos e graxas (O&G), as residuais necessitam de tratamento para se enquadrarem na legislação vigente antes de serem lançadas em corpos hídricos (DRANKA; FAUSTO; RODRIGUES, 2008).

As águas de lavagem são compostas por resíduos do processo de transesterificação em uma mistura de sais orgânicos, glicerina, ácidos graxos, triglicerídios e monoglicerídios, traços de metanol, catalisador e outros hidrossolúveis presentes (MARCHETTI; MIGUEL; ERRAZU, 2007). Segundo De Boni (2007), são as águas de arraste resultante da lavagem, ou mais especificamente, da purificação do biodiesel, com alta concentração de resíduos com cargas orgânicas que podem poluir o meio ambiente.

O sabão que se forma na água é um sal formado pela reação de gorduras ou óleos com hidróxido de sódio ou de potássio (reação de um ácido com uma base). O sal formado pela reação de saponificação possui característica básica, pois deriva de uma reação entre uma base forte e um ácido fraco (ácido graxo).

Conforme Hoydonckx et al. (2004), a transesterificação dos triglicerídeos é tida em presença de catalisadores em condições que podem ser homogêneas ou heterogêneas. Nos processos homogêneos, o tipo de catálise pode ser ácido ou alcalino.

Outro aspecto observado nas águas residuárias é a catálise alcalina. As bases mais utilizadas são os hidróxidos e os metóxidos de sódio e potássio (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007). Este processo explica o alto teor de potássio observado em águas residuárias da produção do biodiesel.

Quanto aos catalisadores, usualmente os básicos tem um melhor resultado na produção do biodiesel, pois aumentam a velocidade da reação e permitem que o processo seja conduzido em condições moderadas de temperatura e pressão. A formação de sabão, entretanto, produz emulsões e diminui o rendimento da reação (VICENTE; MARTÍNEZ; ARACIL, 2004).

### 1.3 Pinhão-manso

No Brasil e no mundo, o desenvolvimento do biodiesel vem recebendo atenção do poder público e da iniciativa privada. A busca para aumentar a produção a preços competitivos impulsionou investimentos na cadeia, desde a expansão do cultivo e a busca por novas matérias-primas, passando pelo desenvolvimento tecnológico industrial, até a logística de distribuição de entrega do produto (JUNG; KITTELSON; ZACHARIA, 2006; DURÃES; LAVIOLA, 2009; RAMOS et al, 2003).

O domínio tecnológico sobre algumas espécies de oleaginosas, como a soja, o algodão, a mamona, o dendê, o amendoim e o girassol, ou sobre matérias-primas de origem animal (gordura) está consolidado, por estas se inserirem na base alimentícia há muito tempo (LEUNG, 2001).

Nos últimos anos, uma espécie de planta que vem recebendo muita atenção é o pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L., Figura 4). Essa espécie vem recebendo investimentos públicos e privados para seu processo de domesticação por meio de experimentação científica (DURÃES; LAVIOLA, 2009). Pertencente à família *Euphorbiaceae* com alta produtividade de óleo e é de fácil manejo no seu cultivo, com aproximadamente 320 gêneros e 8000 espécies (NUNES, 2007; SATURNINO et al., 2005). Sendo da mesma família da mandioca, é associada às suas propriedades medicinais, a artesanatos e à produção de óleo para lamparinas (SATURNINO et al., 2005) (MATOS et al., 2012).

Figura 4 – Frutos e sementes de pinhão- manso



O pinhão-manso possui, de acordo com a região de plantio, outros nomes, como: pinhão-de-cerca (por ser utilizado como cerca viva), pinhão-branco e figo-do-inferno (CÁCERES; PORTAS; ABRAMIDES, 2007).

Segundo Laviola (2009), o pinhão-manso é originário da América Central, e sua introdução no Brasil ainda não é conhecida, por se encontrar de Norte a Sul do país de forma espontânea. As plantas podem atingir de 3 a 5 metros de altura em 5 anos, desde que se façam o controle de podas para o desenvolvimento de ramos, tratos fitossanitários para controle de pragas e doenças, adubação e controle de irrigação (ARRUDA et al., 2004). As sementes têm de 32 a 40% de casca e de 55 a 66% de amêndoa, sendo que a percentagem de óleo é em média de 35 a 40% nas sementes e de 50 a 60% nas amêndoas (SATURNINO et al., 2005). Sua torta é um fertilizante rico em nitrogênio, potássio, fósforo e matéria orgânica, porém, em virtude de ter compostos purgativos, vem recebendo atenção para ter seu uso na alimentação animal e humana, apesar de algumas espécies encontradas no México serem consumidas como alimento (DURÃES; LAVIOLA 2009). O pinhão-manso pode produzir já no 10<sup>o</sup> mês após o plantio, entretanto, em termos de ápice de produtividade, somente após o 3<sup>o</sup> ou 4<sup>o</sup> ano (ARRUDA et al., 2004).

### 1.3.1 Aspectos botânicos da cultura

O pinhão-manso é uma espécie perene, caducifólia, monoica, com flores masculinas e femininas na mesma inflorescência de cores brancas em formato de buquê com aproximadamente 20 flores femininas e 50 masculinas (Figura 5). Conforme Tominaga et al. (2007), as flores femininas têm pedúnculo longo, enquanto as masculinas têm dez estames localizando-se nas pontas das ramificações. As flores femininas se abrem em dias diferentes durante cerca de 11 dias consecutivos e sua polinização é feita por abelhas, formigas e moscas. O processo que ocorre do florescimento à maturação dos frutos leva aproximadamente 60 dias, porém, por não ocorrerem no mesmo dia, a abertura das flores femininas influencia diretamente o processo de colheita (DIAS et al., 2007).

Figura 5 – Floração do pinhão-mansó



As folhas do pinhão-mansó apresentam, conforme a fase, colorações diferentes, sendo: vermelho-vinho na fase nova; verde com nervuras esbranquiçadas na fase adulta; verde-amarelado na fase madura e castanho quando começam a secar (SATURNINO et al., 2005). Outra característica do pinhão-mansó é seu caule (Figura 6). Ele é liso, macio e esverdeado, de lenho mole com ramos espalhados e revestidos por uma camada cerosa, que ao longo de sua vida vai acumulando cicatrizes com a queda das folhas nas estações secas do ano (DIAS et al., 2007).

Figura 6 – Caule ramificado e esverdeado de pinhão-mansó



(Fonte: Biodieselbr, 2007)

Após a maturação, os frutos atingem o tamanho médio de 3 cm de diâmetro, contendo 3 sementes com dimensões que podem variar entre 1,5 a 2 cm de comprimento e 1,3 cm de largura. O potencial produtivo está acima de 1200 kg de óleo por hectare (LAVIOLA, 2009) (Figura 7a-c).

Figura 7 – a) cacho de pinhão-manso com frutos verdes, maduros e secos, b) sementes e frutos maduros e c) fruto seco e suas sementes



(Fonte: Biodieselbr, 2007)

A partir da prensagem dos seus frutos, o óleo de pinhão-manso tem na sua composição principalmente os ácidos oleico (41%), linoleico (37%), palmítico (13,3%) e esteárico (6,4%) (BICUDO et al., 2007).

### 1.3.2 Aspectos econômicos

Desde a introdução jurídica do biodiesel na matriz energética brasileira, quando o governo lançou oficialmente o PNPB, em dezembro de 2004, o pinhão-manso se destacou como uma matéria-prima em potencial para o programa. Algumas características da planta influenciaram no desenvolvimento da sua cadeia produtiva, como: fácil manejo, espécie perene, qualidade do óleo, boa produtividade e possibilidade de sua inserção na agricultura familiar (DURÃES; LAVIOLA, 2009).

Segundo Brasil 2008, a produção e a comercialização de sementes ou de mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) foram regulamentadas segundo a Instrução Normativa n. 4, de 14 de janeiro de 2008, editada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), e a cultivar já pode ser inscrita no Registro Nacional de Cultivares (RNC), sem a exigência de mantenedor. Desta forma, foi oficializada e tem sido fomentada sua produção e pesquisa.

O pinhão-manso apresenta uma diversidade de fins em relação às suas partes, como: o tronco pode ser usado como cobertura e proteção vegetal; a casca, rica em taninos, bem como suas folhas, é utilizada como corante azul para a criação de silks para tinturaria; o látex do seu caule tem propriedades medicinais e pesticidas, além de ser usado para a cicatrização de feridas; e as flores atraem abelhas, o que confere à planta um potencial para a produção de mel; além do óleo de seus frutos (OPENSHAW, 2000).

Fatores como o poder calórico do óleo e sua característica de queima sem liberar fumaça incentivaram ainda mais pesquisas relacionadas à sua produção (ADAM, 1974; MAKKAR et al., 1997). Em tempos de discussões sobre questões ambientais e busca por energias limpas, o pinhão-manso vem ganhando incentivos cada vez maiores (BELTRÃO et al., 2008). Hoje, não só para o biodiesel, pois seu óleo está sendo direcionado também para a produção de combustível para a aviação, o bioquerosene (RIBEIRO, 2010).

### 1.3.3 Cultivo do pinhão-manso

Mesmo ainda sem o domínio técnico básico, o cultivo de pinhão-manso vem aumentando em todo o território brasileiro. Conforme Laviola (2009), os plantios comerciais de pinhão-manso no Brasil ainda estão em fase inicial de implantação. Ele afirma que, em função do desconhecimento, ou do conhecimento pouco uniforme, sobre a genética das sementes e o potencial produtivo de cada genótipo, ainda não há garantias de bom desempenho, produtividade e qualidade do seu óleo.

Nos últimos anos, a Embrapa vem trabalhando no desenvolvimento do melhoramento genético dos cultivares, o que possibilitará o aumento de produtividade de frutos e de óleo por hectare, a sincronização da floração, a tolerância a pragas e doenças, entre outras características (LAVIOLA, 2009).

Seu cultivo se adapta a diversas altitudes, desde o nível do mar a altitudes próximas de 1000 m; e as diversas condições edafoclimáticas de Norte ao Sul do Brasil permitem um bom desempenho produtivo (SATURNINO et al., 2005). Mesmo sendo de fácil adaptação, seu desempenho diminui se plantado em solos áridos ou encostas ou se exposto a ventos constantes e fortes, o que, por vezes, leva a não ultrapassar 2 metros de altura (DIAS et al., 2007).

Sua reprodução pode ser por sementes ou estacas (estaquia). Por sementes, há uma grande variação entre plantas, porém, em regra, resulta em plantas mais robustas e de maior longevidade, em função do desenvolvimento da raiz pivotante. Já a estaquia permite um número maior de plantas geneticamente iguais, favorecendo a uniformidade (SATURNINO et al., 2005). O pinhão-manso é adaptável a uma ampla faixa climática: temperaturas entre 18 a 28,5 °C e precipitação média de 480 a 2.380 mm (BELTRÃO, 2006). Isso significa que ele pode ser plantado em quase todo o território brasileiro. É uma planta tolerante à seca, podendo sobreviver com 200 mm de chuvas/ano e até com 3 anos de secas consecutivas, contudo, paralisando seu crescimento, perdendo as folhas e sobrevivendo da água armazenada nos caules nesses períodos (SATURNINO et al., 2005).

O pinhão-manso pode ser cultivado em diversos tipos de solo, porém, seu desenvolvimento é influenciado por suas características (TOMINAGA et al., 2007). Solos profundos, bem estruturados e não compactados favorecem o deslocamento do sistema radicular, evitando assim o cultivo em solos argilosos, com umidade constante e pouco arejada (DIAS et al., 2007).

Os solos devem ser preparados para um plantio direto com sementes com o uso de arado e gradeados, para facilitar o revolvimento e enterro das mesmas. Deve-se analisar o solo, realizar a calagem caso seja necessário (pH abaixo de 4,5) e a adubação de macro e micronutrientes conforme a exigência da cultura (DIAS et al., 2007).

Mesmo sendo uma planta que sobrevive em solos pobres e com pouca ou nenhuma umidade, a sua produtividade será maior se houver o cuidado com adubação e irrigação (TOMINAGA et al., 2007). Recomenda-se um teor elevado de nutrientes nas covas, já que o sistema radicular tem baixa eficiência de absorção no período inicial de crescimento (DIAS et al., 2007).

A adubação das mudas de pinhão manso deverá ser de acordo com as análises do solo onde estão plantadas, utilizando como base o manual de adubação e calagem do estado.

Este manejo deverá estar de acordo com análise do solo e da relação de pluviosidade ou de irrigação em função da lixiviação do solo. A irrigação é de fundamental importância no desenvolvimento da cultura em questão, e para a busca de um melhor rendimento das plantas, porém, todo o manejo deve ocorrer de forma



eficiente e econômica para não inviabilizar o projeto (FRIZZONE, 1990). As necessidades hídricas do pinhão devem ocorrer em função da medição da evapotranspiração, que deve ser medida por lisímetros e evapotranspirômetros de acordo com dados de estações meteorológicas e com a necessidade da cultura (SEDIYAMA, 1987).

#### **1.4 Irrigação com águas residuárias**

O reuso de águas residuárias na agricultura é praticado há muito tempo, para não dizer há séculos, em várias regiões do planeta (HOEK et al. 2002).

O uso dessas águas requer avaliação preliminar, mas traz benefícios tanto ambientais como econômico. Alguns trabalhos sobre a viabilidade da água residuária na irrigação e fertirrigação demonstram os benefícios do seu reuso para o meio ambiente (DEON et al., 2010, SILVA et al., 2009).

De acordo com as características químicas das águas, o seu uso pode diminuir a pressão sobre os corpos hídricos e diminuir os custos com fertilizantes. Cavallet et al. (2006) observaram uma melhora da fertilidade do solo e um incremento na produção de grãos de milho pela presença de nutrientes na água residuária.

Para Hespanhol (2002), a agricultura depende de suprimento de água a tal nível que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais.

Outras vantagens da utilização da água de reuso na agricultura envolvem pesquisas sobre o controle da erosão do solo e os processos de desertificação por meio da irrigação e fertilização de cinturões verdes, a economia com fertilizantes e matéria orgânica e o aumento da produção de alimentos (BERNARDI, 2003).

Com relação a saúde ambiental, análises apontam que a adição de elementos minerais e o aumento da atividade microbiana advindos da irrigação com esgoto podem inibir o desenvolvimento de alguns patógenos, especialmente pela competição com outros microrganismos no solo (MOTA; SPERLING, 2009).

Segundo Hoek et al. (2002), a reutilização da água se apresenta vantajosa quando se preservam os recursos hídricos disponíveis, se contribui para a

reciclagem de nutrientes e se diminui a utilização de fertilizantes, sem esquecer das questões ambientais envolvidas.

De acordo com Samaras, Tsadilas e Tsialtas (2009), o efeito da irrigação com efluentes na produção de tomates supriu a necessidade de fertilização inorgânica na cultura, diminuindo a concentração de ferro no solo sem afetar as concentrações de manganês, cobre e zinco.

Blum et al. (2009) relatam que, apesar dos potenciais benefícios do uso dos efluentes na irrigação de culturas agrícolas, esta prática não está isenta de riscos em função de elementos químicos como o sódio, metais pesados, organismos patogênicos e contaminantes orgânicos, entre outros.

Águas residuais que contenham sais podem se acumular na zona da raiz e prejudicar o desenvolvimento das plantas, além de poluir o solo e as águas subterrâneas (AYERS; WESTCOT, 1999). Segundo Freitas (2004), no Brasil, o reuso de águas residuárias nos canaviais para atender a agroindústria canavieira, juntamente com trabalhos realizados por universidades e centros de pesquisa, deixam claro o potencial do reuso de águas residuárias no cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) para fins energéticos, na fabricação de biodiesel.

Nascimento et al. (2004) observaram incremento na altura e no diâmetro da mamoneira, com aplicação de água residuária, tornando a planta mais vigorosa e robusta, conferindo-lhe, portanto, maior resistência a tombamento e ataques de pragas.

Sofiatti et al. (2007), estudando níveis crescentes de lodo de esgoto em algodoeiro, verificaram também efeitos positivos sobre o crescimento das plantas em altura, decorrente de sua riqueza em nitrogênio. Fidelis Filho et al. (2005) também registraram maiores valores de altura das plantas de algodão BRS Verde irrigadas com efluente decantado comparado com água de poço, decorrente das altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes presentes no efluente.

Em relação ao pimentão, Duarte (2007) obteve aumento da altura das plantas, quando irrigadas com efluentes de origem doméstica. Segundo o autor, exceto para o fósforo, as plantas cultivadas com água residuária continham teores adequados de macro e micronutrientes no tecido foliar.

No mundo, a maior utilização de águas residuárias é de esgotos domésticos. Para Lima et al. (2005a), a aplicação de água residuária de esgoto doméstico tratado como suplemento nutricional para a cultura da mamoneira é uma estratégia

viável para o aproveitamento deste resíduo, devido às quantidades cada vez maiores de resíduo de esgoto ou biossólidos disponíveis, e com grande potencial de uso agrícola e redução de custos produtivos.

Finocchiaro e Kremer (2010) verificaram uma relação inversa entre a atividade microbiana do solo e a deposição de efluentes de esgoto doméstico tratados quando comparados com a água de rio. No entanto, observaram que as águas residuais tinham duas vezes a condutividade elétrica e quatro vezes a concentração de sódio, se comparadas com a água do rio.

Segundo Papadopoulos (1997), os esgotos domésticos apresentam teores de macro e micronutrientes interessantes para a maioria das culturas. Porém, há também a presença de sais e sólidos dissolvidos fixos e a geração de efluente salino. Alguns riscos potenciais de salinização do solo podem ser provenientes da água de irrigação (MARQUES et al., 2003). A presença de íons em excesso pode impedir a absorção de elementos essenciais ao crescimento da planta, levando ao desbalanceamento nutricional (TESTER; DAVENPORT, 2003).

A combinação de água de irrigação com nutrientes, conhecida como fertirrigação, apresenta uma maior eficácia no sistema de produção e proporciona melhor distribuição dos nutrientes no volume de solo explorado pelo sistema radicular durante o ciclo das culturas (SOUZA, 1993).

Segundo Alarcon (1997), um fertilizante, para ser usado na fertirrigação, deve ter alta solubilidade em água e os resíduos insolúveis a 15 °C devem ser inferiores a 0,5%. A adequação das necessidades nutricionais de uma cultura a partir da fertirrigação com água residuária é recomendável por atender a questões ambientais e econômicas. Conforme Matos (2002), o uso de águas residuárias na fertirrigação de espécies de vegetais perenes que removam nutrientes ao longo do ano é recomendável. Desta forma, unir água residuária e fertirrigação, do ponto de vista agrônomo, ambiental e econômico, não só é viável como também é possível.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Estudar a viabilidade do reaproveitamento da água residuária da fabricação de biodiesel na produção de mudas de pinhão-manso.

#### 2.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar a composição química da água residuária de produção de biodiesel utilizada no estudo.
- Caracterizar física e quimicamente o solo utilizado no estudo.
- Analisar o efeito da água residuária no teste de germinação de sementes de pinhão-manso.
- Analisar o desenvolvimento de mudas do pinhão-manso em ambiente protegido irrigado com a água residuária em diferentes concentrações.
- Analisar as características físicas e químicas do solo irrigado com a água residuária.
- Analisar o teor dos macros e micronutrientes disponíveis na parte aérea e nas raízes do pinhão-manso após 60 dias.

### 3 METODOLOGIA

Encontram-se detalhados os principais reagentes e produtos químicos utilizados, os equipamentos específicos e, em seguida, os procedimentos experimentais da tese.

#### 3.1 Reagentes e produtos químicos

Os principais reagentes utilizados no estudo, nas etapas experimentais realizadas em laboratórios da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), estão listados a seguir, bem como as respectivas procedências:

- Acetileno 99,5%. Procedência: Linde Gases.
- Ácido clorídrico (P.A.) – Procedência: Vetec S/A (usado como recebido).
- Ácido nítrico (P.A.) – Procedência: Vetec S/A (usado como recebido).
- Ácido sulfúrico (P.A.) – Procedência: Vetec S/A (usado como recebido).
- Bicarbonato de sódio (P.A.) – Procedência: Sigma-Aldrich.
- Biftalato de potássio (P.A.) – Procedência: Merck S/A (usado como recebido).
- Carbonato de sódio (P.A.) – Procedência: Sigma-Aldrich.
- Detergente Extran® MA01 – Procedência: Merck S/A.
- Diatomita (P.A.) – Procedência: Vetec S/A (usado como recebido).
- Dicromato de potássio (P.A.) – Procedência: Vetec S/A (usado como recebido).
- n-Hexano (P.A.) – Procedência: Vetec S/A (usado como recebido).
- Padrão certificado DIONEX® Five Anion Standard.
- Padrão certificado DIONEX® Six Cation Standard.
- Sal marinho natural (bruto) – Procedência: Salinas Praia Seca (usado como recebido).
- Solução padrão de Al 1.000 mg g<sup>-1</sup> – Procedência: Quemis.
- Solução padrão de Cd 1.000 mg g<sup>-1</sup> – Procedência: Quemis, rastreado pelo SRM NIST 682.

- Solução padrão de condutividade (1.412  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) – Procedência: Quemis.
- Solução padrão de Cr 1.000 mg g<sup>-1</sup> – Procedência: Quemis, rastreado pelo SRM NIST 136e.
- Solução padrão de Cu 1.000 mg g<sup>-1</sup> – Procedência: Quemis, rastreado pelo SRM NIST 682.
- Solução padrão de Fe 1.000 mg g<sup>-1</sup> – Procedência: Quemis.
- Solução padrão de Mn 1.000 mg g<sup>-1</sup> – Procedência: Quemis, rastreado pelo SRM NIST 928.
- Solução padrão de Ni 1.000 mg g<sup>-1</sup> – Procedência: Quemis, rastreado pelo SRM NIST 682.
- Solução padrão de Pb 1.000 mg g<sup>-1</sup> – Procedência: Quemis, rastreado pelo SRM NIST 682.
- Solução padrão de Zn 1.000 mg g<sup>-1</sup> – Procedência: Quemis, rastreado pelo SRM NIST 682.
- Soluções-tampão de pH (4,0; 7,0 e 10) – Procedência: Isofar (usado como recebido).
- Sulfato de mercúrio (P.A.) – Procedência: Merck S/A (usado como recebido).
- Sulfato de prata (P.A.) – Procedência: Merck S/A (usado como recebido).

### 3.2 Equipamentos

Na elaboração do estudo foram utilizados os equipamentos, pertencentes a laboratórios da UERJ e do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), listados a seguir, bem como outros equipamentos e vidrarias tradicionais usados em laboratório conforme Tabela 1.

**Tabela 1 – Equipamentos utilizados no experimento**

<b>Equipamento</b>	<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>	<b>Localização</b>
Digestor	DBR- 200	HACH	Lab. UERJ
Espectrofotômetro	DR-5000	HACH	Lab. UERJ
Cromatógrafo de íons	ICS 3000	DIONEX	Lab. UERJ
Espectrofotômetro	AAS 220	VARIAN	Lab. UERJ
Forno micro ondas	START E	MILESTONE	Lab. UERJ
TRUBIDÍMETRO	TB-1000	TECNAL	Lab. UERJ
Multi-parâmetros	PCS Testr- 35	OAKLON	Lab. UERJ
Capela de fluxo laminar	FLV-656/3	FILTERFLUX	Lab. IFRJ
Moinho analítico básico	A-11	IKA	Lab. IFRJ
Incubadora	BOD-TF34	THELGA	Lab. IFRJ

### 3.3 Análise da água residuária da fabricação do biodiesel

#### 3.3.1 Procedimentos

Foi utilizada no estudo água residuária da lavagem de biodiesel pós-tratamento com elevados teores de demanda química de oxigênio (DQO) e óleos/graxas (O&G) (DRANKA; FAUSTO; RODRIGUES, 2008), cedida por empresa localizada no município de Volta Redonda (RJ). As amostras foram coletadas em recipientes de vidro com o volume de 5L e acondicionadas à temperatura de  $\pm 4$  °C para posterior análise e utilização.

Conforme as metodologias preconizadas por American Public Health Association (2012), as análises físico-químicas seguiram e compreenderam a determinação dos seguintes parâmetros: DQO, pH, salinidade, sólidos totais dissolvidos (STD), O&G, cátions e ânions e metais, conforme a seguir:

##### 3.3.1.1 Demanda química de oxigênio (DQO)

A DQO das amostras foi obtida por meio do método colorimétrico de refluxo fechado, baseado no procedimento 5220 descrito no *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2012). Foi utilizado um digestor modelo DRB 200 e um espectrofotômetro modelo DR 5000.

### 3.3.1.2 pH

O pH das amostras foi obtido por meio de leitura direta no analisador multiparâmetros modelo PCS Testr 35, conforme o procedimento 4500 H+ descrito no *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2012).

### 3.3.1.3 Salinidade

A salinidade foi quantificada por meio de leitura direta em um analisador multiparâmetros modelo PCS Testr 35, conforme procedimento o 2510 descrito no *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2012).

### 3.3.1.4 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os STD foram quantificados nas amostras por meio de leitura direta com um analisador multiparâmetros modelo PCS Testr 35.

### 3.3.1.5 Óleos e graxas (O&G)

Os teores de O&G foram determinados por meio da extração em equipamento Soxhlet, utilizando um solvente orgânico (n-hexano)

### 3.3.1.6 Concentrações de cátions e ânions por cromatografia de íons (CI)

As análises quanto às concentrações de cátions e ânions por cromatografia de íons (CI), foram realizadas em triplicata, diluídas em 500 vezes, sendo o resíduo da destilação diluído em 1.000 vezes.

Posteriormente, foram filtradas com auxílio de seringas acopladas a filtros de fibra de vidro de 0,22 µm de porosidade, com a finalidade de evitar o entupimento das colunas do equipamento com material particulado e colocado nos vials do mostrador automático do cromatógrafo de íons. Todas as amostras foram lidas em



triplicata. Foram quantificados os seguintes íons e cátions: fluoreto, Cálcio Magnésio, potássio, sulfato, fosfato e cloreto.

### 3.3.1.7 Concentrações de metais por espectrometria de absorção atômica de chama (AAS)

As amostras foram lidas, em triplicata, no espectrômetro de absorção atômica (Modelo: AAS-220). Foram quantificados os seguintes elementos-traços: Fe, Al, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn.

## 3.4 Caracterização do solo utilizado no experimento com os vasos

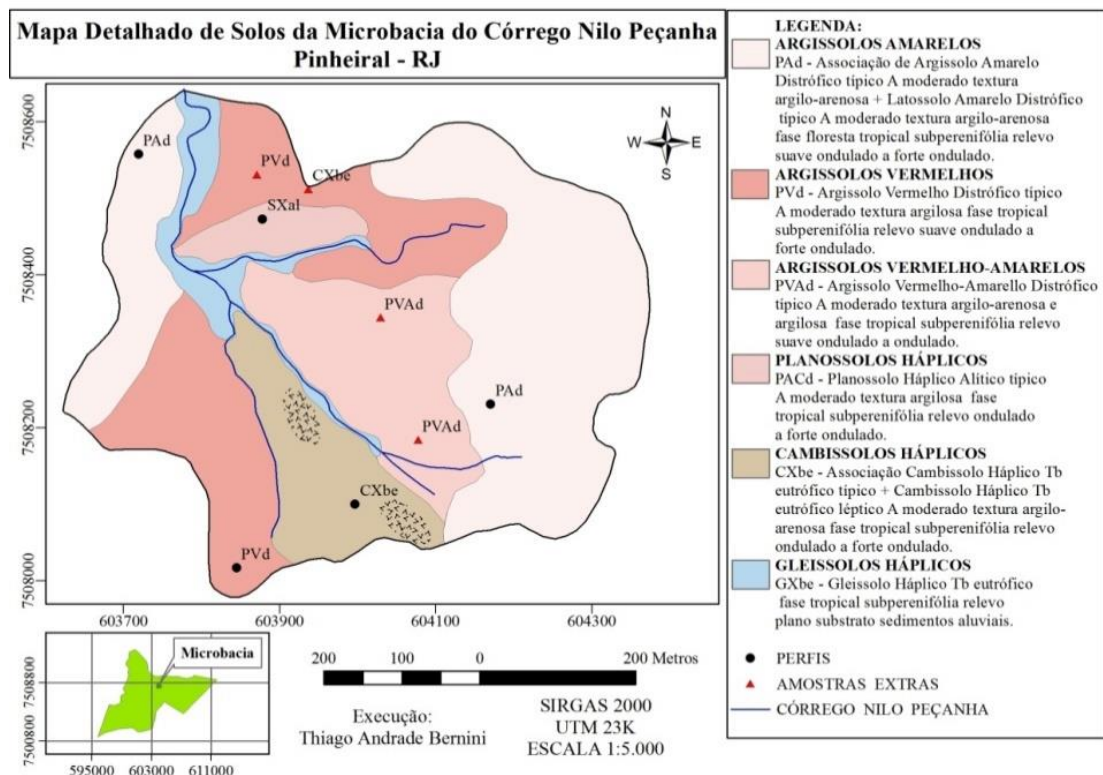
### 3.4.1 Procedimentos

O solo utilizado no experimento foi o Argissolo amarelo distrófico coletado a uma profundidade de 10 a 20 cm. Ele faz parte da micro-bacia do ribeirão Cachimbau, localizado nas terras do Campus Pinheiral do Instituto Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro (IFRJ) (Figura 8a-b), abrangendo uma superfície de 33.974 m<sup>2</sup> e perímetro de 2.533 metros, e localiza-se na região do Médio Vale do rio Paraíba do Sul, no município de Pinheiral (RJ), na coordenada 603837 L e 7508364 N, UTM zona 23S (Figura 9).

Figura 8 – a) área com relevo local com declividade e vegetação de pasto e b) trincheira aberta em terço médio, côncavo e com 35% de declividade



Figura 9 – Mapa detalhado de solos da microbacia do córrego Nilo Peçanha – Pinheiral (RJ)



As amostras de solo foram enviadas para a Embrapa Solos, localizada no bairro Jardim Botânico, Rio de Janeiro (RJ). Todas as análises e metodologias utilizadas foram realizadas segundo Embrapa (2011), conforme se segue:

- A análise granulométrica, que consiste na determinação dos teores de argila, silte e areia, foi determinada com base na lei de Stokes, após adição de dispersante químico (NaOH) e agitação (dispersão física) de uma suspensão de solo (relação solo-solução = 1:50). O teor de argila foi obtido por densimetria e o de areia com base no material retido em peneira de malha de 0,053 mm.
- A acidez ativa (pH em água) foi determinada através da medição do pH com um potenciômetro dotado de eletrodo combinado de Ag/AgCl, na suspensão solo-água deionizada na proporção 1:2,5.
- A capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada através da soma dos resultados obtidos para as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e

$\text{Al}^{3+}$  (extraídos por solução de  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  de KCl);  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  (extraídos por solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  + solução de HCl  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ) e  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  (extraídos por solução de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  em pH 7,0).

$$\text{CTC} = \text{Valor S} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$$

$$(\text{Valor S} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)$$

- A percentagem de saturação com sódio foi calculada por meio da seguinte expressão:

$$\text{PST} (\%) = 100 \times (\text{Na}^+/\text{CTC})$$

$\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis foram determinadas por titulação com ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) dissódico  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  na presença, respectivamente, dos indicadores: Negro de Eriocromo T e Calcon.  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  trocáveis foram extraídos por uma solução conhecida como Mehlich 1 (HCl  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ ) e determinados por fotometria de chama. A acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}_3^+$ ) foi extraída com solução de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0 e determinada por titulação com solução de NaOH  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ , em presença do indicador fenolftaleína.

- O carbono orgânico do solo (Corg), foi determinado por titulação de oxirredução com sulfato ferroso amoniacal  $0,102 \text{ mol L}^{-1}$ , em presença do indicador difenilamina, após digestão com solução ácida de dicromato de potássio  $0,0667 \text{ mol L}^{-1}$ . O nitrogênio foi obtido pela sua conversão em sulfato de amônio (método Kjeldahl), através da oxidação do solo com uma solução ácida de  $\text{CuSO}_4$  e  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Em seguida, o sulfato de amônio, convertido da matéria orgânica, em meio alcalino (pela adição de solução de NaOH  $7,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), libera amônia, que em um microdestilador kjeldahl foi complexada em solução de ácido bórico ( $3,64 \text{ mol L}^{-1}$ ) contendo indicador misto (verde de bromocresol + vermelho de metila), sendo determinado posteriormente por acidimetria.

- A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico. Esse método consiste em determinar o volume de etanol necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo o solo previamente seco em estufa.
- Os teores de Na e K solúveis foram determinados pela leitura, em fotômetro de chama, do extrato de saturação da pasta saturada do solo.

### 3.5 Teste de germinação de sementes

#### 3.5.1 Procedimentos

As sementes de pinhão-mansão utilizadas no experimento foram fornecidas pela Embrapa, do Cultivar-152, provenientes da cidade de Janaúba (MG) em um único lote, da safra 2014. Este trabalho foi conduzido no Laboratório Multidisciplinar do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), campus Nilo Peçanha – Pinheiral (RJ).

No teste de germinação, foi utilizada a água residuária da fabricação de biodiesel após o tratamento feito pela empresa e, para efeito de controle, utilizou-se a água destilada. A Tabela 2 apresenta as dosagens (diluição) aplicadas no teste:

**Tabela 2 – Tratamentos aplicados no teste de germinação**

<b>Tratamento</b>	<b>Dosagens aplicadas (v/v)<sup>1</sup></b>
Controle	Água destilada : (T0)
Efluente Tratado*	5% (T1), 10% (T2), 20%(T3) e 40% (T4)

\* as dosagens aplicadas são em referencia as diluições em água destilada.

As sementes foram submetidas a um tratamento de desinfecção superficial. O tratamento consistiu na lavagem com hipoclorito de sódio a 2% durante 2 min, seguida da lavagem com água corrente por 3 min, procedimento repetido por 3 vezes. Após esse procedimento, as sementes foram dispostas em tabuleiro para secar à temperatura ambiente.

O experimento foi montado em fatorial, com delineamento inteiramente casualizado, consistindo de cinco tratamentos e quatro repetições (5X4), sendo 25 sementes por repetição para cada tratamento, totalizando 500 sementes avaliadas.

Os testes de germinação foram realizados em rolos de papel Germitest® umedecidos com cada dosagem estabelecida, na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco, conforme a diluição respectiva. Após a montagem dos rolos de papel, estes foram envolvidos em sacos de polietileno transparentes, dispostos verticalmente na incubadora (Figura 10), em temperatura  $\pm 25$  °C e fotoperíodo de 12 horas, durante 14 dias.

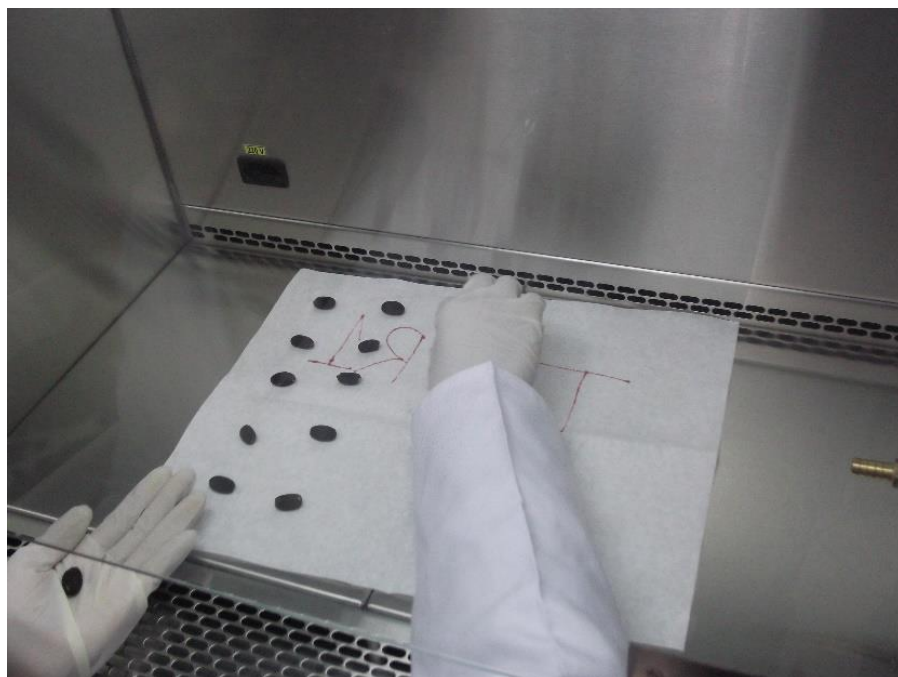
Figura 10 – Incubadora



Os parâmetros avaliados foram baseados em Brasil (2009), sendo eles: percentual germinativo, emergência de plântulas, plântulas normais e anormais e crescimento de parte aérea e raiz.

Toda a contagem foi realizada em capela de fluxo laminar previamente desinfetada com etanol a 70% para evitar ocorrências de fungos prejudiciais ao experimento (Figura 11).

Figura 11 – Capela de fluxo laminar



Contagens diárias de sementes germinadas e plântulas emergidas foram realizadas para proceder aos cálculos de índice de velocidade de germinação (IVG) e índice de velocidade de emergência (IVE). Para isto, considerou-se como semente germinada aquela que apresentou protrusão da raiz, e, para o IVE, as sementes emergidas que possuíam apenas raiz primária.

Os IVE e IVG foram realizados computando-se o número de sementes germinadas e plântulas emergidas, contadas diariamente e no mesmo horário em cada repetição, utilizando-se as fórmulas propostas por Maguire (1962) e Popinigis (1977), respectivamente:

$$IVG = \sum g_n / \sum N_n$$

Onde:

IVG = índice de velocidade de germinação

$g_n$  – plântulas emergidas computadas na primeira,...,  $n$  última contagem.

$N_n$  – números de dias da semeadura à primeira,..., última  $n$  contagem.

$$IVE = \sum e_n / \sum N_n$$

Onde:

$e_n$  – plântulas emergidas computadas na primeira,...,  $n$  última contagem.

$N_n$  – números de dias da semeadura à primeira,..., última  $n$  contagem.

Também se avaliou o comprimento da parte aérea e da raiz das plântulas (quando com amostras suficientes), no qual a determinação do comprimento da parte aérea e do sistema radicular primário foi realizada com um paquímetro, sendo obtido o comprimento da parte aérea medindo a distância entre o colo e o ápice do cotilédone. Para tais medidas, foram separadas no último dia de contagem (14<sup>a</sup> dia) dez plântulas normais (aleatórias) de cada repetição dentro de cada tratamento.

O desenvolvimento das plântulas foi observado durante os 14 dias de experimento. No último dia de contagem, avaliaram-se as plântulas normais e as suas anormalidades como deformações em suas raízes e parte aérea, de forma manual, segundo critérios preconizados por Brasil (2009).

### 3.6 Produção de mudas até 60 dias após semeadura (DAS)

#### 3.6.1 Procedimentos

O experimento foi conduzido na casa de vegetação com dimensões de 5 metros de largura por 7 metros de comprimento por 4 metros de altura (Figura 12), localizada na Unidade de Ensino e Produção (UEP) Viveiros e Mudas do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilo Peçanha – Pinheiral (RJ) em latitude de 22° 31' 40.21" S, longitude 43° 59' 25.18" W zona 23 na altitude de 345 metros.

Figura 12 – Casa de vegetação



O experimento ocorreu em dois momentos distintos:

- a) Produção de 20 mudas nos vasos de 5L com solo sem intervenção de calagem e adubação mineral;
- b) Produção de 40 mudas nos vasos de 5L com solo que receberam calagem e adubação mineral: 20 vasos receberam NPK; 20 vasos receberam NP, sem adição do potássio.

#### 3.6.1.1 Preparo das sementes

Foram selecionadas 180 sementes fornecidas pela Embrapa, do Cultivar-152, provenientes da cidade de Janaúba (MG), em um único lote, da safra 2014, por



tamanho e peso aproximados. As mesmas foram submetidas a um tratamento de desinfecção superficial, que consiste na lavagem com hipoclorito de sódio a 2% durante 2 minutos, seguida da lavagem com água corrente.

### 3.6.1.2 Preparo do solo e vasos

No primeiro experimento nos vasos, foram selecionados e encheidos com 3 kg de solo, que não receberam calagem ou adubação mineral, havendo somente o seu peneiramento seco ao ar, em 20 vasos plásticos de 5L. Os vasos foram distribuídos em fatorial, com delineamento inteiramente casualizado, consistindo de 5 tratamentos, sendo: a testemunha (controle) com água de nascente da região, representada por T-0 e 4 tratamentos (água residuária diluída) representadas por T-1 (5%), T-2 (10%), T-3 (20%) e T-4 (40%) com 4 repetições [5 x 4].

Para cada vaso foram semeadas quatro sementes inseridas na posição com a carúncula para cima, tendo em vista a aceleração na germinação da semente. As mesmas foram plantadas com uma profundidade de aproximadamente 4 cm. O desbaste foi realizado quinze dias após a emergência das sementes, retirando-se as plântulas consideradas menos vigorosas e deixando apenas uma planta por vaso, sendo escolhidas as de tamanho uniforme entre si.

Foram realizadas irrigações diárias nos vasos quando necessário, de forma a repor a água consumida na evapotranspiração e manter o solo com umidade próxima à capacidade de campo. Periodicamente, era observado se havia a presença de pragas ou doenças para que fosse possível avaliar os danos e adotar o método de controle mais eficaz. As ervas daninhas que porventura apareciam eram retiradas por arranques manuais para não competir com as mudas de pinhão-manso

No segundo experimento, o solo foi peneirado, seco ao ar. Foram aplicadas 250 mg de calcário dolo mítico (PRNT 100%) por quilograma de solo incubado por 1 mês, com solo úmido antes de aplicar os nutrientes.

Na adubação mineral, os vasos foram divididos em duas parcelas de 20 vasos cada, conforme segue:

- a) a primeira, aplicando 20 mg/kg de nitrogênio, 18mg/kg de fósforo e 29 mg/kg de potássio;
- b) a segunda aplicando 20 mg/kg de nitrogênio, 18 mg/kg de fósforo.

Após o preparo do solo, ele foi distribuído na quantidade de 3 kg por vaso. Em sequência, todas as ações descritas a partir da semeadura das sementes no primeiro experimento com vasos foram repetidas.

### 3.7 Análise dos teores de macro e micronutrientes nas plantas e nos solos

Após 60 DAS, as plantas e solos foram coletados dos vasos para análise dos macro e micronutrientes e dos valores das variáveis de crescimento (altura, diâmetro do caule, comprimento de raiz, massa fresca partes aéreas, massa seca de partes aéreas, massa fresca de raiz e massa seca de raiz).

#### 3.7.1 Coleta de dados das variáveis de crescimento das plantas

Após os 60 (DAS), foram feitas as medições das variáveis de crescimento das plantas. Para a medição de altura, diâmetro do caule e comprimento de raiz, foi utilizado um paquímetro digital e régua sendo que os valores encontrados foram anotados em planilhas para posterior análise estatística:

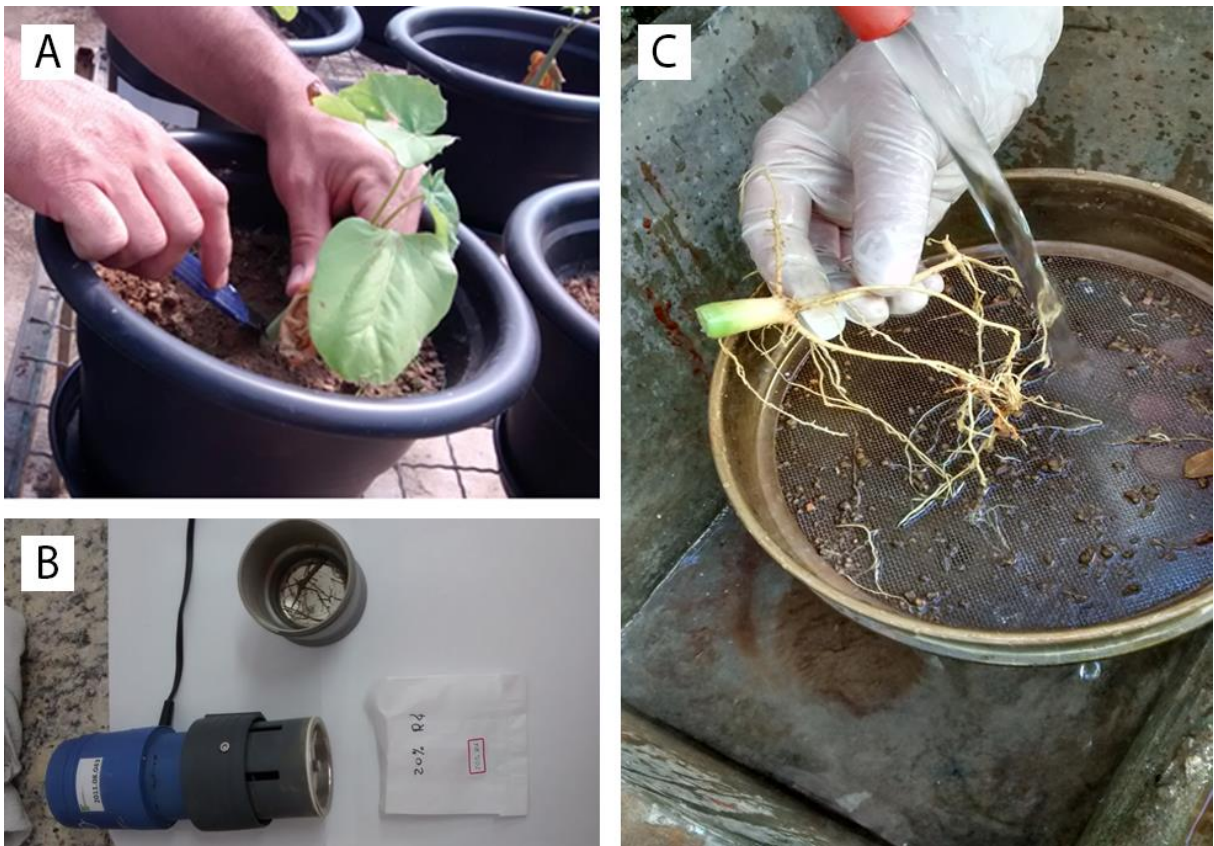
- **Altura caulinar da planta (em cm):** Foi medida desde a cicatriz cotiledonar da planta até a inserção da última folha com auxílio de régua graduada.
- **Diâmetro caulinar (em mm):** Foi realizada com o auxílio de um paquímetro, verificando-se o diâmetro logo acima da cicatriz cotiledonar.
- **Comprimento de raiz (em cm):** As raízes pivotantes foram medidas com auxílio de régua graduada.

Após as medições, as plantas foram cortadas e separadas em partes aéreas (folhas e caules) e raízes. As mesmas foram pesadas separadamente e ensacadas em papel vegetal, identificadas conforme o tratamento e o número da repetição para medir peso fresco e os valores tabulados nas planilhas.

Os sacos identificados foram submetidos a secagem em estufa pelo período de 24h a temperatura de 60°C. Posteriormente à secagem, os sacos foram pesados, retirando a tara do mesmo e os valores tabulados nas planilhas.

Todo o material (partes aéreas e raízes) seco foi triturado por meio do moinho analítico, ensacado em sacos plásticos com as devidas identificações e enviados à Embrapa Solos para análise dos teores de macro e micronutrientes nos tecidos vegetais (Figura 13a-c).

Figura 13 – Corte de parte aérea (A); Moinho (B); Separação de raízes do solo (C)



### 3.7.2 Coleta de solo para análise

Após a retirada das plantas, os solos contidos nos vasos foram colocados para secar ao ar e, posteriormente, peneirados (Figura 14), ensacados com as devidas identificações e enviados para análise na Embrapa Solos. Todas as análises e metodologias utilizadas estiveram em conformidade com Embrapa (1997).

**Figura 14** – Solo em processo de secagem



### 3.8 Análise estatística

Para a elaboração desta tese, na interpretação dos resultados obtidos, foram aplicados métodos estatísticos usando programas computacionais.

Na montagem dos gráficos e tabelas e na elaboração e execução dos cálculos, foi utilizado o software Excel® (MICROSOFT CORPORATION, 2010).

Na análise estatística dos resultados dos testes de germinação, desenvolvimento de plântulas e produção de biomassa, foi realizada a análise de variância (Anova) utilizando-se um modelo fatorial inteiramente casualizado por meio do software SAS (SAS INSTITUTE INC., [2002]).

A análise dos resultados obtidos nos vasos quanto a variáveis de crescimento, ganhos de massa e teores de macro e micronutrientes nas folhas foi realizada por meio de análise de variância, utilizando-se de um modelo fatorial. Os resultados foram interpretados qualitativamente e quantitativamente e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade (MILLER; MILLER, 1993).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise da água residuária

A caracterização da água residuária de uma empresa de biodiesel seguiu a metodologia preconizada por American Public Health Association (2012).

Se considerarmos a viabilidade da utilização desta água para a irrigação, a mesma deverá ser avaliada em sua conformidade com a legislação ambiental em vigência.

Após as análises, os valores obtidos foram comparados com os parâmetros da água classe 3 destinada: ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à dessedentação de animais segundo a Resolução Conama n. 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), e em conformidade com a Resolução Conama n. 430/11 (BRASIL, 2011), que dispõe sobre os padrões de lançamento de efluentes nos corpos de água receptores (Tabela 3).

**Tabela 3 – Caracterização da água residuária**

Parâmetros	Valores	Água classe 3 - CONAMA 357/2005	Resolução CONAMA 430/2011
DQO (mg/L)	1980	NE	NE
pH	5,4	6 a 9	5 a 9
Salinidade (mg/L)	1030	NE	NE
STD (mg/L)	1490	500	500
O&G (mg/L)	23	Visual ausente	20 minerais / 50 vegetais
Fluoreto (mg/L)	60,8	1,4	10, 0
Ca (mg/L)	1974	NE	NE
Mg (mg/L)	ne	NE	NE
K (mg/L)	1912	NE	NE
Cloreto (mg/L)	0,46	250	NE
Fe (mg/L)	17,5	5,00	15
Al (mg/L)	0,56	0,20	NE
Cd (mg/L)	0,005	0,01	0,2
Cr (mg/L)	0,07	0,05	1,0
Cu (mg/L)	0,014	0,01	1,0
Pb (mg/L)	0,11	NE	0,5
Ni (mg/L)	0,054	0,03	2,0
Zn (mg/L)	0,46	5,00	5,0

ne- Não encontrado  
NE- Não especificado

Avaliar se a água atende aos critérios é importante, pois, segundo Almeida (2010) mesmo as águas dentro dos padrões estabelecidos podem se tornar prejudiciais conforme evoluem no solo. Isto ocorre, por exemplo, com o fenômeno de evapotranspiração ocasionando a diminuição de umidade e o aumento de concentração de sais.

Conforme a Tabela 5, os parâmetros DQO, salinidade e potássio têm valores altos, porém não são especificados pelas normas. Já os parâmetros STD, o fluoreto e o ferro estão acima do recomendado pelas legislações analisadas. Os outros parâmetros observados atendem a legislação ou estão bem próximos do recomendado.

A DQO é um dos parâmetros mais importantes na caracterização de um efluente industrial ou de esgoto de sanitário quando é avaliada a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) consumido em meio ácido, o que leva a degradação da matéria orgânica determinando o grau de poluição da água (MACÊDO, 2003). Os valores observados nos resultados (DQO = 1980 mg/L) são considerados altos, o que pode prejudicar o reuso da água para fins de irrigação, já que são de natureza orgânica, como a glicerina e óleos e graxas, o que dificulta a degradação da matéria orgânica por microrganismos aeróbicos e anaeróbicos.

A salinidade pode causar danos à vegetação pelo contato direto nas folhas e nas raízes, inibindo o seu crescimento. Os sintomas de toxidez observados em plantas são, entre outros, as lesões necróticas, queima das folhas e má formação das raízes (PAGANINI, 1997). As legislações analisadas não especificam os valores mínimos para este parâmetro. Entretanto, sabe-se que as águas que contém altas concentrações de sais e que são usadas na irrigação elevam as concentrações no solo, reduzindo a disponibilidade de água nas plantas (SILVA, 2002).

O potássio é essencial para o desenvolvimento das plantas, porém, o excesso pode provocar toxidez ou aumento da salinidade (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Nos citros, esse excesso causa ainda um aumento na grossura e aspereza da casca e no tamanho do fruto. Além disso, também inibe a absorção de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), provocando sintomas de deficiências (MARSCHNER, 1995).

Outro parâmetro de fundamental importância é a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD), que, nessa análise, está acima do recomendado pela legislação. Os STD podem influenciar diretamente na turbidez e diminuir a saturação de O<sub>2</sub>, prejudicando a fotossíntese. Eles podem se sedimentar no leito dos rios,

destruindo organismos que fornecem alimentos, ou também danificar os leitões de desova de peixes.

Os sintomas de toxicidade de Fluoreto em plantas sensíveis podem ser induzidos pela exposição à atmosfera, pela água ou pela composição do solo. Brewer, Guillemet e Shutherland (1965) ressaltaram que sintomas podem aparecer no milho quando os teores foliares de F estão na faixa de 29 a 48 mg·kg<sup>-1</sup>, comprometendo o rendimento da cultura acima desses valores. Portanto deve-se avaliar se os teores encontrados na água podem prejudicar as plantas.

Outro elemento químico acima do estipulado pela legislação é o ferro (Fe). Para avaliar se ocorre a deficiência de ferro nas plantas, o primeiro sintoma a ser notado ocorre nas folhas mais novas e, depois, na parte superior da planta. A deficiência pode deixar a planta com uma coloração amarelo-esbranquiçado. Não podemos esquecer que outras causas podem levar aos mesmos sintomas e, por isso, atrapalhar seu diagnóstico. Doenças, infestações de insetos ou dano por herbicidas podem ser diagnosticados incorretamente como deficiência de Fe (ou de outro nutriente). Por isso se fazem necessárias às análises de solo, de teores na planta e de outras informações de cultivo para um melhor diagnóstico e tratamento (BRIAT; LEBRUN, 1999).

Segundo Almeida (2010), a qualidade da água para irrigação se define em função de três critérios básicos: salinidade dentro dos limites estabelecidos, para avaliar se há altas concentrações de sais na água; sodicidade, para analisar se a água induz uma elevada porcentagem de sódio trocável (PST) que causará a deterioração na estrutura do solo; e toxidade, para avaliar determinados íons acumulados nos tecidos das plantas.

Conforme os resultados da análise da água residuária, um parâmetro a ser considerado é a quantidade de potássio disponível, o que é muito positivo para seu reaproveitamento como fertirrigação. Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), o teor de potássio encontrado nas plantas de alto potencial produtivo excede o teor de nitrogênio por participar de diversas fases do metabolismo das plantas, também observado por (SATURNINO et al., 2005).

#### **4.2 Análise do solo utilizado no experimento com os vasos**

#### 4.2.1 Caracterização do solo

As análises têm o objetivo de identificar as características físicas e as químicas do solo para analisar suas necessidades de correção de acidez e nutricionais. Para isso, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 10-20 cm e encaminhadas à Embrapa Solos.

#### 4.2.2 Composição do complexo sortivo

A Tabela 4 apresenta os resultados de caracterização química do solo argissolo amarelo.

Quanto aos valores do complexo sortivo, a concentração de  $H^+ = 2,4$  foi baixa. Quanto ao  $pH = 5,6$ , de acordo com Vianna (2008), solos com valores de  $pH$  semelhantes ao do estudo apresentam acidez típica de solo tropical (intensamente intemperizado). O  $pH$  tem importante influência para aumentar ou diminuir as forças de atração entre elementos e as moléculas que constituem a água residuária com as moléculas dos constituintes da matéria orgânica ou da matéria sólida do solo. Estes dados são evidenciados por Paraíba, Luiz e Pérez (2004), que avaliaram o processo de sorção de pesticidas no solo.

**Tabela 4 – Caracterização química do solo**

Caracterização química															
pH (1:2,5)		Complexo Sortivo (cmolc/kg)							Valor T	100. Al <sup>3+</sup> S + Al <sup>3+</sup> %	P assimilável mg/kg	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	
Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>							
5,6	4,6	2,0	0,3	0,15	0,02	2,5	0,1	2,4	5,0	4	11	8,7	0,9	10	

Para avaliar a fertilidade do solo, há a necessidade de analisar os valores de S, T, V e a saturação com alumínio (Tabela 5).



**Tabela 5** – Fórmulas dos parâmetros de fertilidade: valores de S, T, V e saturação com alumínio

Valor S (bases trocáveis)	$Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$ trocáveis
Valor T (capacidade de troca catiônica)	Soma dos valores de S, $H^+$ e $Al^{3+}$ trocáveis
Valor V (saturação de bases)	Calculado pela fórmula $100 \times S/T$
Saturação com alumínio	Calculada pela fórmula $100 \times Al^{3+}/Al^{3+} + S$

(Fonte: MEMDONÇA, 2006)

Sendo aplicada a fórmula, o solo analisado é considerado eutrófico por apresentar  $V = 50\%$ , pois apresenta percentual de saturação das bases ( $V$ )  $> 50\%$  (MENDONÇA, 2006).

Os teores de  $Al^{3+}$  apresentaram-se abaixo dos níveis de toxidez, isto é, entre 0-0,3 cmolc/kg (AQUINO; OLIVEIRA; ROSSETTI, 2004).

Quanto ao carbono orgânico, de acordo com Embrapa (2004), o solo analisado apresenta teores de carbono orgânico médios.

Os teores de fósforo nas amostras de solo analisadas indicam que são baixos ( $< 30$  mg/kg) (VIANNA, 2008).

Na Tabela 6 são apresentadas as concentrações de micronutrientes e metais com níveis baixos para a nutrição da planta (CAMARGO; ALLEONI; CASAGRANDE, 2001). Os valores observados são menores que os estabelecidos por regulamentações de diferentes países para solo (MALAVOLTA; MORAES, 2006).

**Tabela 6** – Concentrações de micronutrientes e de metais tóxicos presentes no solo estudado

Micro nutrientes e metais tóxicos (mg/kg)							
Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Co	Ni	Pb
0,498	38,2	1,45	0,347	0,098	0,019	0,087	0,873

#### 4.3 Teste de germinação de sementes

Os resultados da análise de variância dos dados estão dispostos na Tabela 7, que apresenta os quadrados médios para o percentual de plântulas germinadas (PG), percentual de plântulas normais (PN), índice de velocidade de germinação

(IVG), índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento de raiz (CR) é o comprimento de parte aérea (CPA). Observa-se que não houve efeito significativo a  $p \leq 0,01$  e a  $p \leq 0,05$  demonstrando que as diferenças nas médias não são significativas para a análise estatística.

**Tabela 7** – Teste de médias (Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade) da interação entre cinco tratamentos e variáveis do teste de germinação

Fonte de variação	GL	Quadrados médios					
		PG	PN	IVG	IVE	CR	CPA
Trat.	4	110,8 <sup>ns</sup>	110,8 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
Resíduos	15	79,4	113,6	0,51	0,56	0,32	0,32
CV (%)	—	10,9	13,5	12,8	13,4	11,2	10,4

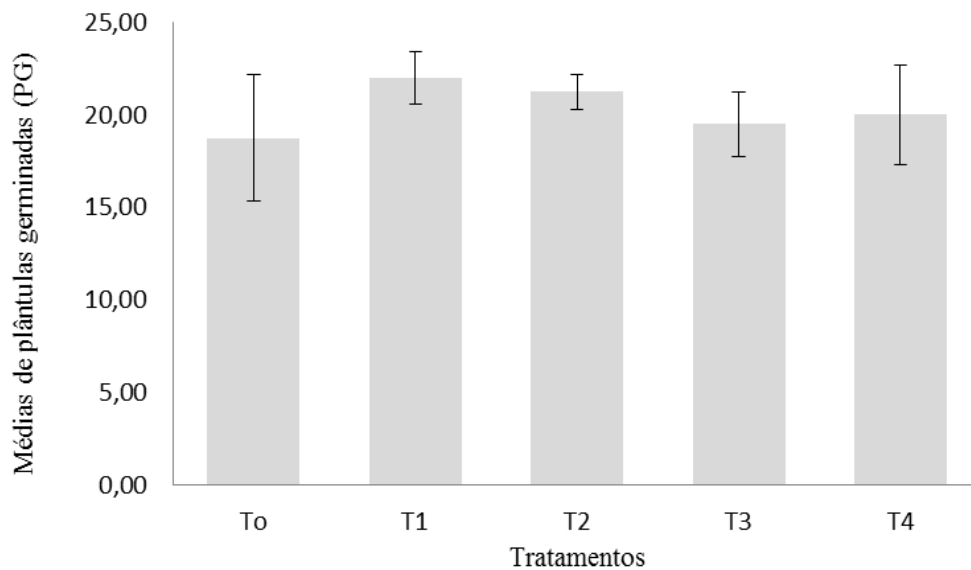
  

Tratamentos	Médias					
	PG (%)	PN (%)	IVG (und)	IVE (und)	CR (cm)	CPA (cm)
T-0	75 a	74 a	5,2 a	5,2 a	5,5 a	6,0 a
T-1	88 a	87 a	6,1 a	6,1 a	5,3 a	5,4 a
T-2	85 a	81 a	5,7 a	5,6 a	4,9 a	5,3 a
T-3	78 a	76 a	5,4 a	5,3 a	5,0 a	5,0 a
T-4	80 a	76 a	5,3 a	5,4 a	4,5 a	5,3 a

Tratamentos = T-0 (água), ( T-1 (5%), T-2 (10%), T-3 (20%) e T-4 (40%) de diluição) . \*\* e \* significativos a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente , ns - não significativo pelo teste de Tukey. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada coluna não diferem entre si.

Conforme o Gráfico 1, as médias do índice de germinação demonstram que para todos os tratamentos e os parâmetros avaliados não diferiram entre si, comparado com a testemunha. O desvio padrão foi influenciado pela presença de fungos nas sementes, que contribuíram para a interrupção no processo germinativo, porém, isto ocorreu tanto na testemunha quanto nas diluições (tratamentos com água residuária).

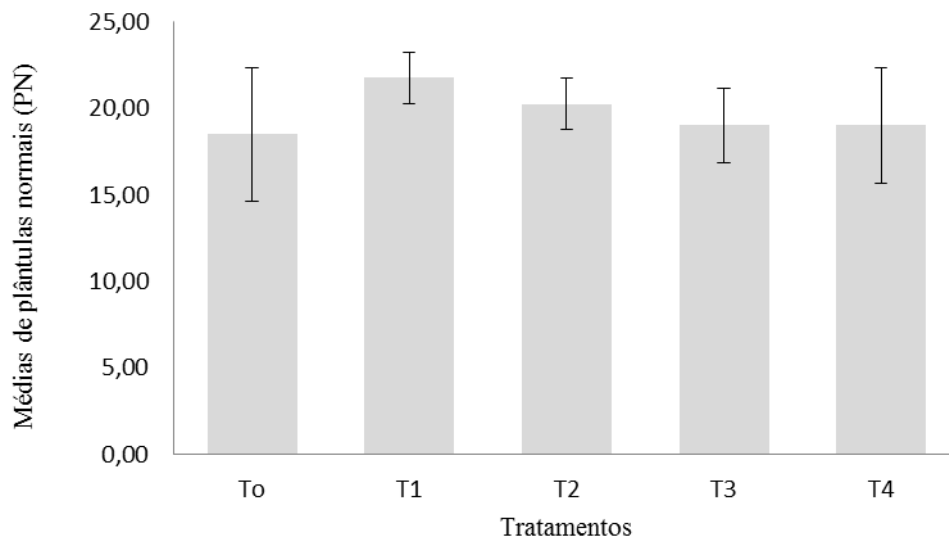
Gráfico 1 – Média e desvio padrão do percentual de plântulas germinadas (PG)



No Gráfico 2, visualiza-se o comportamento das sementes germinadas quanto às plântulas normais - PN em cada tratamento (Tabela 9). Podemos observar o percentual de PN não diferiram entre si. Um dos fatores que pode contribuir para o desenvolvimento das plântulas é o déficit hídrico. Isto ocorre durante a germinação, pois ocorre uma inibição no início do desenvolvimento da radícula e o alongamento do hipocótilo, prejudicando o desenvolvimento do eixo embrionário (BELCHER, 1975), o que não ocorreu. Alguns autores afirmam que este déficit eleva a porcentagem de plântulas anormais, como foi verificado para sementes de amendoim (TANAKA; MASCARENHAS; MIRANDA, 1991) e algodão (DUTRA; CASTRO; AMARO FILHO, 1995). Entretanto, houve tratamento igual para todos os experimentos.

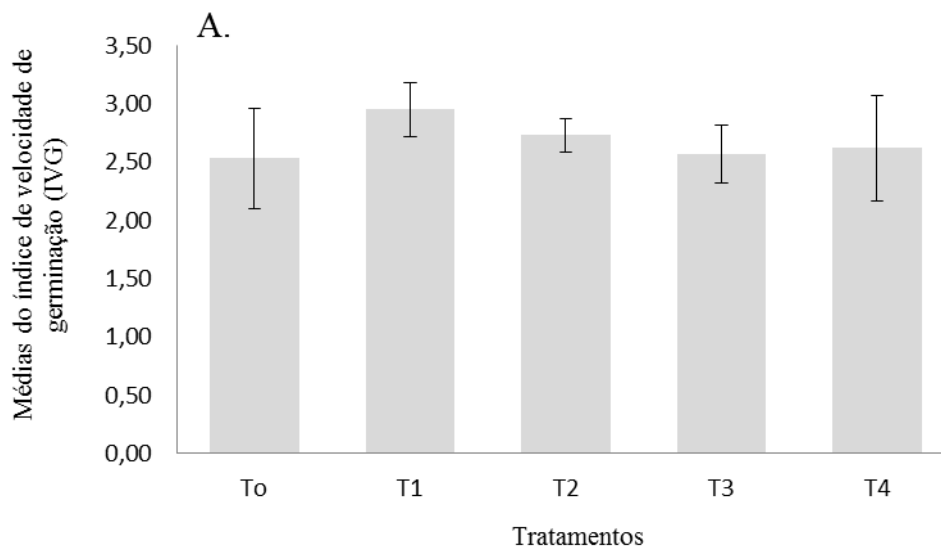
Outro fator que pode ter influenciado nos resultados da germinação e na formação das plântulas é o teor de sais, especialmente de cloreto de sódio, devido à diminuição do potencial osmótico, ocasionando prejuízos às demais fases do processo (LIMA et al., 2005b). Considerando que, mesmo com a diluição da água residuária, houve aumento gradativo da concentração, no caso de germinação em papel, os sais encontrados não influenciaram diretamente nas sementes. Conforme os resultados, as médias não diferem entre si.

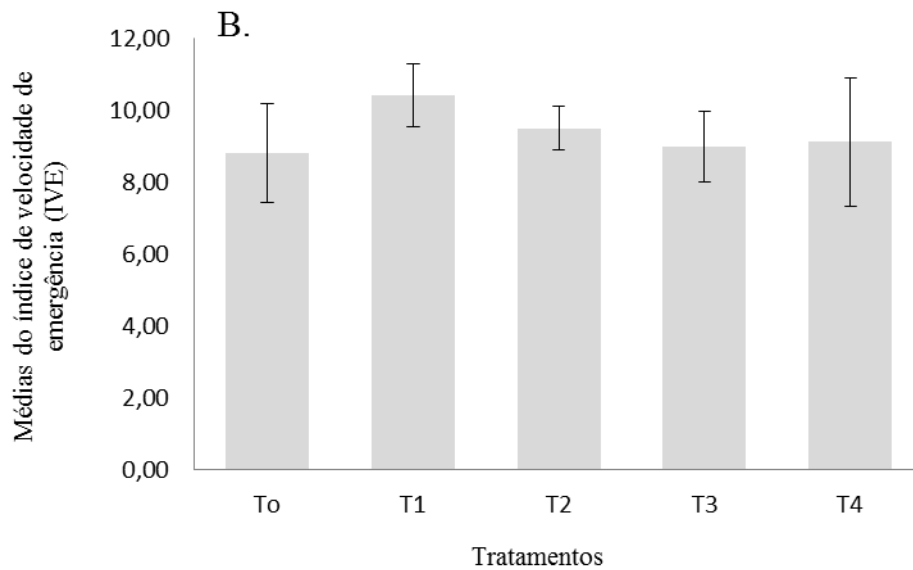
Gráfico 2 – Médias de plântulas normais



No Gráfico 3A-B são apresentados os valores médios do índice de velocidade de germinação (IVG) e o índice de velocidade de emergência (IVE). O resumo estatístico (Tabela 10) nos aponta que não houve efeito significativo entre si, que significa que a água residuária não influenciou nos resultados.

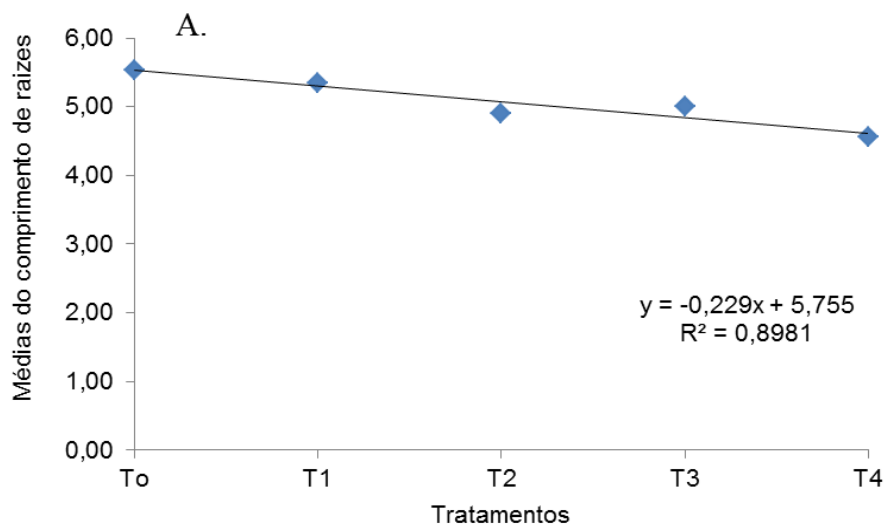
**Gráfico 3** – A) Médias do índice de velocidade de germinação de sementes (IVG) e B) médias do índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE)

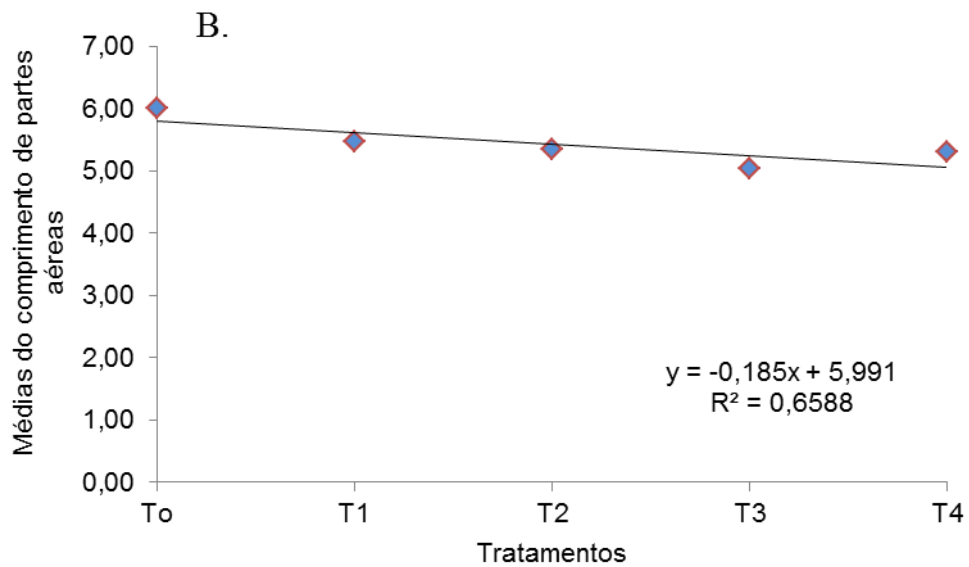




Quanto ao comprimento da raiz e da parte aérea, podemos concluir que foram satisfatórios, já que em condições ótimas no desenvolvimento das sementes de pinhão-mansó houve uma razão equânime no crescimento da parte aérea com o crescimento das raízes (CARNEIRO et al., 2009). O Gráfico 4a-b apresenta os comprimentos de raiz e de parte aérea. Conforme os resultados estatísticos, as médias não diferem entre si, e podemos observar que há um efeito linear negativo para o desenvolvimento das sementes com o aumento da concentração das águas residuárias.

Gráfico 4 – a) médias do comprimento de raízes (CR) e b) médias do comprimento de partes aéreas

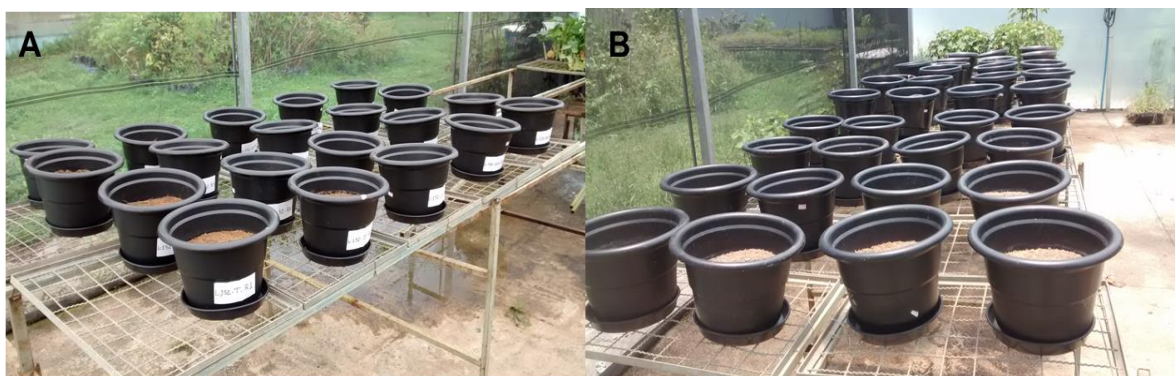




#### 4.4 Produção de mudas até 60 DAS e coleta de dados de crescimento

O experimento foi montado em duas etapas. A primeira, com 20 vasos em solo sem adubação ou correção de acidez, somente com peneiramento do solo retirando cascalhos e raízes (Figura 15a). A segunda, com 40 vasos com adubação e calagem em duas parcelas: 20 vasos com NPK e 20 vasos com NP (Figura 15b).

Figura 15 – Vasos com solo e sementes na casa de vegetação



#### 4.4.1 Produção de 20 mudas nos vasos com solo sem intervenção de calagem e adubação mineral

A Tabela 8 apresenta os resultados da análise de variância, os quadrados médios das variáveis: altura de parte aérea (APA), diâmetro de caule (DC), comprimento de raiz (CR), peso fresco de parte aérea (PFPA), peso seco de parte aérea (PSPA), peso fresco de raiz (PFR) e peso seco de raiz (PSR). Observa-se que houve efeito significativo a ( $p \leq 0,01$ ) para a fonte de variação tratamento nas variáveis APA, DC, PFPA, PFR E PSR. Para as fontes de variação CR e PSPA, houve efeito significativo a ( $p \leq 0,05$ ). O experimento foi montado utilizando o solo coletado sem correção de acidez ou adubação mineral, sendo montado para efeito comparativo entre as plantas.

**Tabela 8** – Teste de médias (Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade) da interação entre cinco tratamentos e variáveis de crescimento

Fonte de variação	GL	Quadrados médios						
		APA	DC	CR	PFPA	PSPA	PFR	PSR
<b>Trat.</b>	4	10,8**	0,17**	74,8*	47,7**	1,91*	9,9**	0,23**
<b>Resíduos</b>	15	1,2	0,01	19,1	2,1	0,4	1,1	0,01
<b>CV (%)</b>	—	12,2	11,07	37,4	7,1	4,6	26,8	6,2

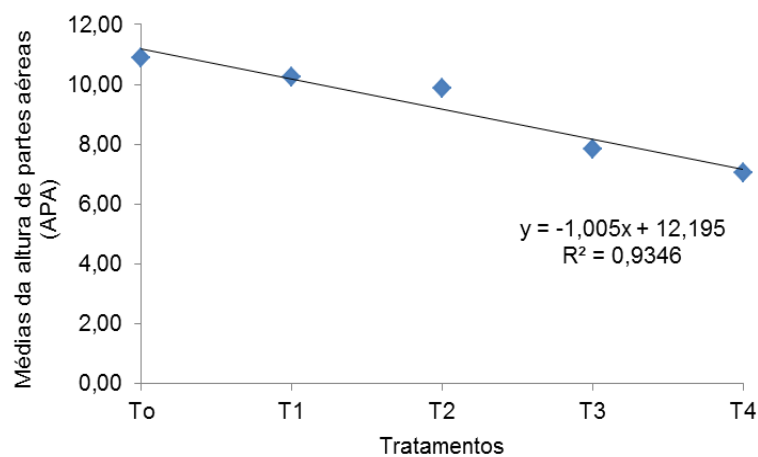
Tratamentos	Médias						
	APA (cm)	DC (mm)	CR (cm)	PFPA (g)	PSPA (g)	PFR (g)	PSR (g)
<b>T-0</b>	10,8 a	1,12 a	17,2 a	24,5 a	15,4 a	6,3 a	1,9 a
<b>T-1</b>	10,2 ab	1,05 a	13,2 ab	23,05 ab	15,1 ab	4,4 ab	1,7 a
<b>T-2</b>	9,8 ab	1,02 a	13,2 ab	20,4 bc	14,5 ab	4,3 ab	1,7 a
<b>T-3</b>	7,8bc	0,8 b	7,9 ab	17,4 cd	13,94 b	2,6 b	1,4 b
<b>T-4</b>	7,05 c	0,6 b	6,7 b	16,5 d	13,97 b	2,4 b	1,3 b

Tratamentos = T-0 (água), ( T-1 (5%), T-2 (10%), T-3 (20%) e T-4 (40%) de diluição) . \*\* e \* significativos a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente , <sup>ns</sup> - não significativo pelo teste de Tukey. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada coluna não diferem entre si.

#### 4.4.1.1 Altura de parte aérea (APA)

Conforme os resultados apresentados na Tabela 8, as médias para a variável altura de parte aérea (APA) diferem entre si. O melhor resultado foi obtido no tratamento T-0 (controle), com 10,8 cm, aproximadamente 6,7% a mais que T-1, com 10,2 cm. Com efeito linear decrescente, a diferença entre o T-0 (10,8 cm) e o de menor valor T-4 (7,05 cm) foi de 35,1%. A altura das plantas foi reduzida com o aumento da concentração da água residuária comparada com o tratamento controle com perdas percentuais de T-1 (6,7%), T-2 (9,2%), T-3 (27,82%) e T-4 (35,17%). Estes dados estão representados no Gráfico 5, que mostra o efeito linear decrescente.

**Gráfico 5** – Médias de altura de parte aérea (APA)

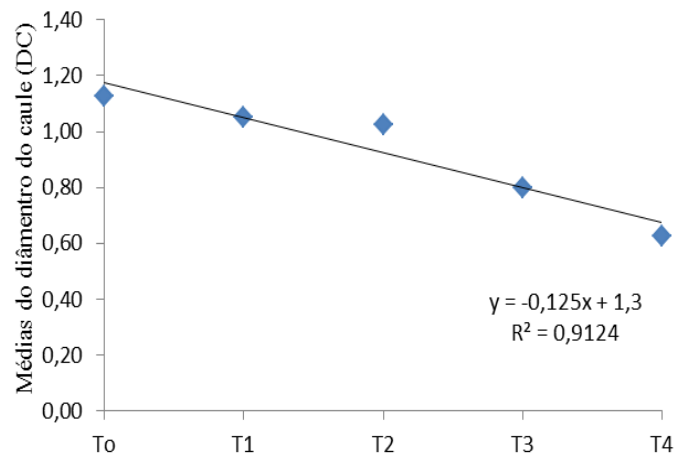


#### 4.4.1.2 Diâmetro do caule (DC)

Conforme o Gráfico 6, o diâmetro do caule também reduziu com o aumento da concentração da água residuária com perdas na ordem de T-1 (6,67%), T-2 (8,89%), T-3 (28,89%) e T-4 (44,44%) em comparação com T-0 (Gráfico 6).



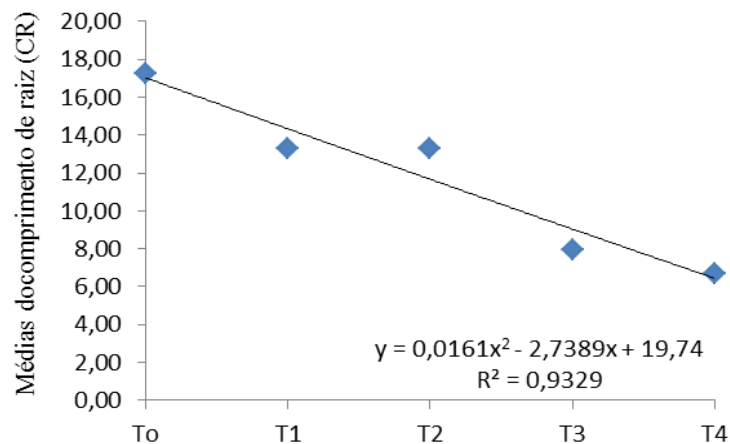
Gráfico 6 – Médias do diâmetro do caule (DC)



#### 4.4.1.3 Comprimento de raiz (CR)

Conforme o Gráfico 7, o comprimento de raiz principal teve resultados com perdas em função da concentração, porém, as diferenças entre os tratamentos foram bem maiores, comparando com parte aérea e diâmetro do caule sendo as perdas percentuais de: T-1 (23,15%), T-2 (23,15%), T-3 (53,98%) e T-4 (61,07). Observa-se que nas variáveis de altura de parte aérea e diâmetro do caule as diferenças foram menores que no comprimento de raiz, diferente do que foi encontrado por Carneiro et al. (2009), que obteve uma maior diferença no sistema radicular que na relação raiz/parte aérea de pinhão-manso.

Gráfico 7 – Médias do comprimento de raiz (CR)



Segundo Oliveira (2014), a altura, o diâmetro do caule e o comprimento de raiz são reduzidos com o aumento da salinidade. Em condições de estresse salino, é comum ocorrerem alterações morfológicas e anatômicas nas plantas, que refletem na redução da transpiração como alternativa para manter a baixa absorção de água salina. Segundo Almeida (2010), mesmo as águas dentro dos padrões estabelecidos podem se tornar prejudiciais conforme evoluem no solo. Isto ocorre, por exemplo, com o fenômeno de evapotranspiração, ocasionando a diminuição de umidade e o aumento de concentração de sais. Alguns resultados apontam que, com o aumento da salinidade da água de irrigação, houve redução significativa no diâmetro do caule de pinhão-manso (OLIVEIRA, 2014)

#### 4.4.1.4 Peso fresco parte aérea (PFPA) e peso seco de parte aérea (PSPA)

As variáveis PFPA e PSPA sofreram redução significativa com o aumento da concentração da água residuária pela perda de área foliar, resultado semelhante ao obtido por Nery et al. (2009). No Gráfico 8a-b, é possível observar que, com relação à variável PFPA, há diferença de 44,5% entre T-0 e T-4, e, com relação à variável PSPA, a diferença foi de 9,7% no mesmo intervalo. Na variável PFR, a diferença entre T-0 e T-4 foi de 61,4%, e na variável PSR a diferença foi de 29,76. As médias apresentaram o mesmo comportamento, sendo que a maior em todas as variáveis foi no tratamento T-0, não diferiu entre T-1 e T-2, mas diferiu entre T-3 e T-4.

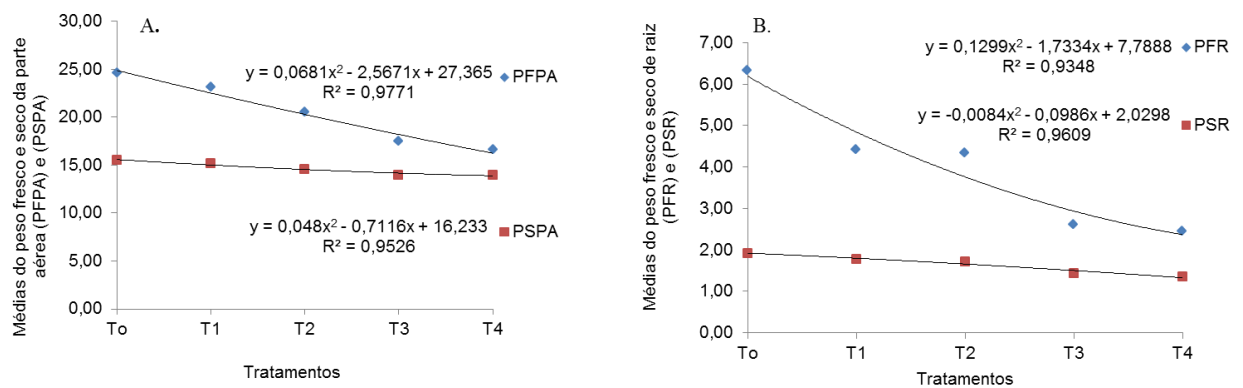
Um dos fatores que podem influenciar neste resultado é a salinidade. Ela influencia na estrutura do solo, reduz a sua capacidade de armazenar água e, conseqüentemente, a sua absorção pela planta. Neste caso, afeta também a absorção dos nutrientes pela raiz que ocorre em solução aquosa (fluxo em massa) e, assim, interfere na absorção principalmente de N, S, Ca e Mg (PRADO, 2008), efeito semelhante ao observado em solos compactados (NOVAIS; MELLO, 2007). Com isto, afeta a fisiologia das plantas cultivadas devido às alterações químicas e físicas do solo (SERTÃO, 2005).

O acúmulo excessivo de sais no tecido vegetal afeta os processos fisiológicos e seu desequilíbrio nutricional (FERNANDES; WEIGERT; ANDREOLI, 2003). Com isso, influencia na diminuição da disponibilidade de água às plantas devido à

redução do potencial total da água no solo, impondo um gasto maior de energia nas plantas para a absorção da água e diminuindo a produção de matéria seca (LEONARDO et al., 2007; MATOS et al., 2013).

Outras espécies de oleaginosas também apresentaram resultados semelhantes ao efeito da salinidade sobre o acúmulo de massa seca (MORAIS et al., 2011): amendoim (CORREIA et al., 2009) e mamoneira (NOBRE et al., 2013).

Gráfico 8 – a) médias do peso fresco de parte aérea (PFPA) e do peso seco de parte aérea (PSPA) e b) médias do peso fresco de raiz (PFR) e do peso seco de raiz (PSR)



#### 4.4.2 Produção de 40 mudas nos vasos com solo que recebeu calagem e adubação mineral: 20 vasos receberam NPK; 20 vasos receberam NP, sem adição do potássio

A segunda fase do experimento foi estruturada seguindo as recomendações de adubagem e calagem (EMBRAPA, 1987) e os procedimentos listados na metodologia.

Segue a Figura 16a-d com algumas ações executadas no experimento e na Figura 17 a-b, mudas pinhão–manso plantadas nos vasos com adubação NP e NPK na repetição um (R1).

Figura 16 – Vaso com adubos minerais (A), sementes de pinhão-manso passando por desinfecção (B), vaso recebendo quatro sementes para germinação (C) e vaso com solo nas bancadas na casa de vegetação (D)



Figura 17 – Mudas pinhão-manso plantadas nos vasos com adubação NP (A) e NPK (B) de (T-0 a T-4) na repetição um (R1)



A Tabela 9 apresenta os resultados da análise de variância, os quadrados médios das variáveis: altura de parte aérea (APA), diâmetro de caule (DC), comprimento de raiz (CR), peso fresco de parte aérea (PFPA), peso seco de parte aérea (PSPA), peso fresco de raiz (PFR) e peso seco de raiz (PSR). Observa-se que houve efeito significativo a ( $p \leq 0,01$ ) para a fonte de variação tratamento nas variáveis DC, PFPA, PSPA, PFR E PSR. Para a fonte de variação K, houve efeito significativo a ( $p \leq 0,01$ ) para as variáveis APA, PFR e PSR e foi significativo a ( $p \leq 0,05$ ) para a variável PSPA. Quanto à interação entre o Trat. x K, houve efeito significativo a ( $p \leq 0,05$ ) nas variáveis APA e CR.

**Tabela 9** – Análise multivariada e teste de médias (Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade) da interação entre cinco tratamentos, adubação e variáveis de crescimento

Fonte de variação	GL	Quadrados médios						
		APA	DC	CR	PFPA	PSPA	PFR	PSR
<b>Trat.</b>	4	2,2 <sup>ns</sup>	23,04 <sup>**</sup>	3,9 <sup>ns</sup>	693,08 <sup>**</sup>	33,2 <sup>**</sup>	9,2 <sup>**</sup>	0,56 <sup>**</sup>
<b>K</b>	1	66,1 <sup>**</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	19,1 <sup>ns</sup>	115,9 <sup>ns</sup>	10,5 <sup>*</sup>	15,9 <sup>**</sup>	1,04 <sup>**</sup>
<b>Trat. * K</b>	4	3,1 <sup>*</sup>	2,6 <sup>ns</sup>	49,8 <sup>*</sup>	40,5 <sup>ns</sup>	2,1 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
<b>Resíduos</b>	30	5,809	1,546	16,814	49,366	2,115	1,769	0,076
<b>CV (%)</b>	—	12,7	8,1	21,9	24,9	29,8	22,4	22,3

Tratamentos	Médias						
	APA (cm)	DC (mm)	CR (cm)	PFPA (g)	PSPA (g)	PFR (g)	PSR (g)
<b>T-0</b>	19,4 a	16,9 a	19,8 a	41,7 a	7,8 a	6,4 ab	1,4 a
<b>T-1</b>	18,7 a	16,8 a	18,2 a	33,1 ab	6,02 ab	7,2 a	1,5 a
<b>T-2</b>	19,5 a	15,3 ab	18,9 a	25,9 bc	4,2 bc	6,29 ab	1,2 ab
<b>T-3</b>	18,8 a	12,9 c	18,3 a	19,9 c	3,1 c	4,6 b	0,9 b
<b>T-4</b>	18,2 a	14,2 bc	18,1 a	20,2 c	3,08 c	4,9 b	0,9 b
<b>Adubação</b>							
<b>NP</b>	20,2 a	15,3 a	19,3 a	29,9 a	5,3 a	6,5 a	1,4 a
<b>NPK</b>	17,6 b	15,2 a	18,01 a	26,5 a	4,3 b	5,3 b	1,07 b

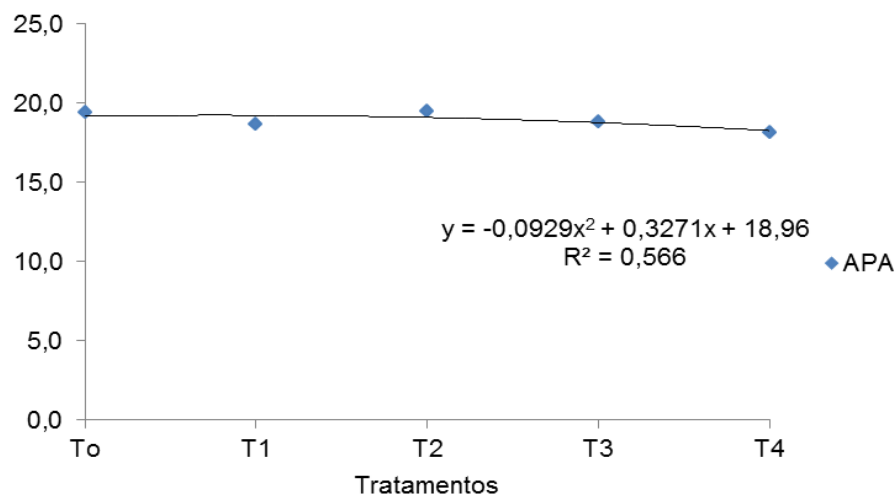
Tratamentos = T-0 (água), ( T-1 (5%), T-2 (10%), T-3 (20%) e T-4 (40%) de diluição) . \*\* e \* significativos a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente , ns - não significativo pelo teste de Tukey. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada coluna não diferem entre si.

#### 4.4.2.1 Altura de parte aérea (APA)

Conforme os resultados apresentados na Tabela 9, as médias para a variável altura de parte aérea (APA) não diferem entre si nos tratamentos. Entretanto, para adubação, houve efeito significativo que difere NP de NPK. O melhor resultado foi

obtido no tratamento T-2 (19,5 cm), seguido de T-0 (controle, 19,4 cm), T-3 (18,8 cm), T-1 (18,7cm) e T-4 (18,2 cm) (Gráfico 9). Não foi constatado um comportamento linear, indica que a adubação de potássio mais a água residuária não influenciaram no crescimento das mudas, em comparação com o tratamento controle. Este resultado já evidencia a importância da análise de solo, sua adubação e a correção de acidez para um melhor desenvolvimento da planta.

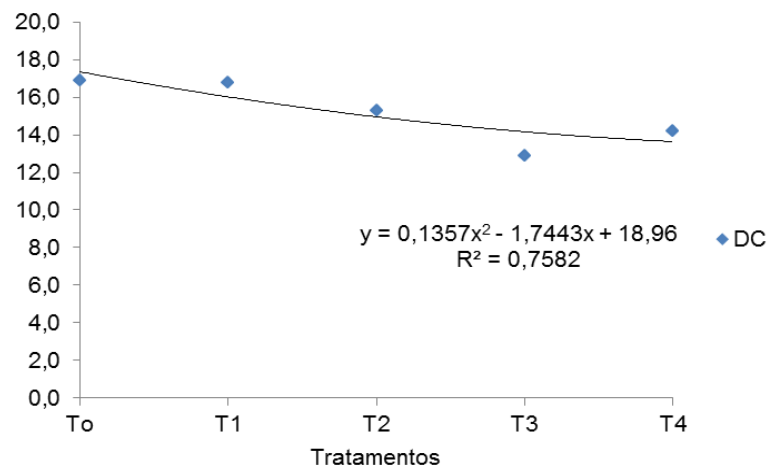
**Gráfico 9** – Médias de altura de parte aérea (APA)



#### 4.4.2.2 Diâmetro do caule (DC)

Conforme o Gráfico 10, para a variável diâmetro do caule (DC), a maior média foi obtida pelo tratamento controle T-0 (16,9 mm) que não se diferenciou do tratamento T-1 (16,8 mm) e de T-2 (15,3 mm), mas se diferenciou de T-3 (12,9 mm) e de T-4 (14,2 mm). O desenvolvimento dos caules não se diferenciou em relação à adubação, apresentando o mesmo comportamento.

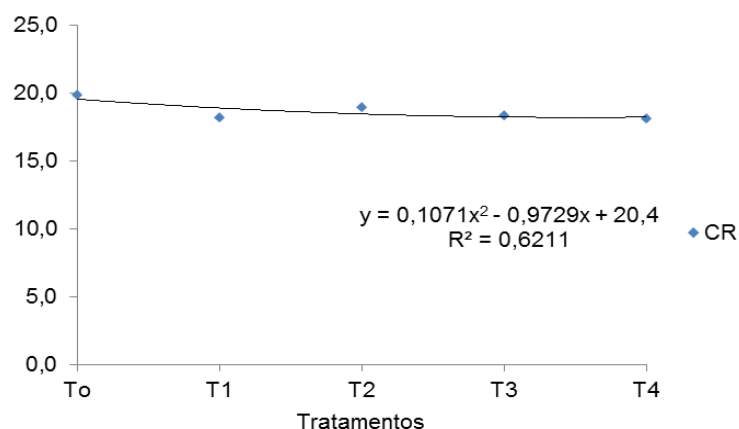
**Gráfico 10** – Média do diâmetro do caule



#### 4.4.2.3 Comprimento de raiz (CR)

Conforme o Gráfico 11, na variável comprimento de raiz (CR) (Figura 20), os quadrados médios dos tratamentos e da adubação de K não diferem entre si. As médias dos resultados para adubação não seguem a mesma linha de tendência, sendo que para a adubação NPK a tendência foi linear decrescente com as médias diminuindo em função do aumento de concentração. Com a adubação NP ocorreu o inverso, com as médias aumentando em função do aumento da concentração. Este comportamento pode ocorrer em função do acúmulo de potássio no solo, já que o pinhão-manso na fase inicial da planta não necessita de grandes quantidades (SATURNINO et al., 2005).

Gráfico 11 – Médias do comprimento de raiz



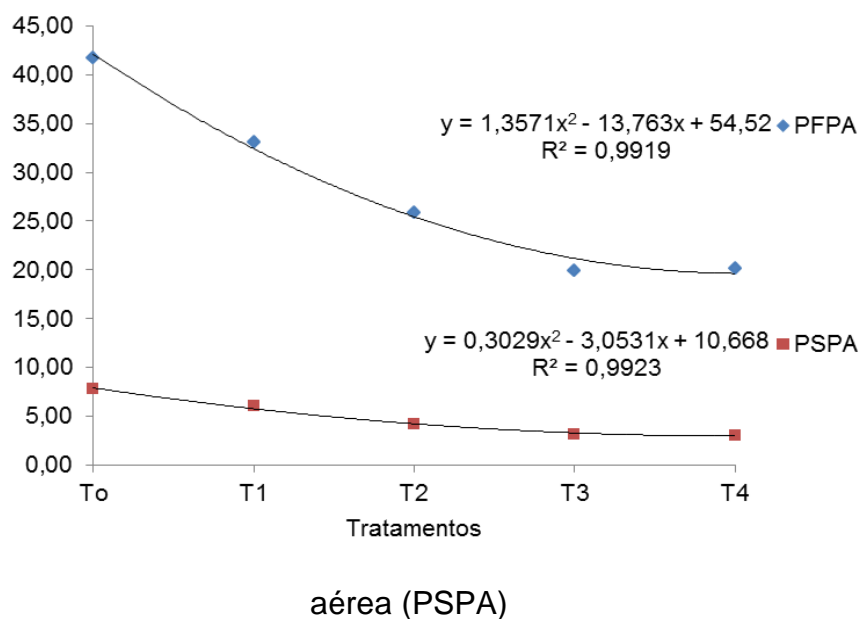
#### 4.4.2.4 Peso fresco de parte aérea (PFPA) e peso seco de parte aérea (PSPA)

O peso fresco da parte aérea (PFPA) (Figura 21), apresentou o maior ganho de massa no tratamento controle T-0 (41,7 g) com 20,6% a mais que T-1 (33,1 g) e de 53% a mais que T-3 (19,9 g) a menor média. Observa-se que T-0 não difere de T-1, mas sim de T-2, T-3 T-4. Quanto a adubação com e sem K não houve diferença estatística.

Após a desidratação, o variável peso seco de parte aérea (PSPA) (Figura 21), apresentou os resultados que indicam que o tratamento controle T-0 (7,8 g) foi o melhor resultado sem diferir se T-1 (6,2), mas difere de T-2 (4,2 g), T-3(3,1 g) e T-4(3,08 g). Em comparação com o peso fresco em que a diferença entre T-0 e T-1 é de 20,6% para peso seco a diferença entre T-0 e T-1 é de 22,8% aumentando as diferenças conforme aumenta a concentração da água residuária. Quanto a adubação K houve efeito significativo em que difere NP de NPK.

Outro comportamento a ser analisado é a diferença entre as adubações seguiram a mesmo comportamento. Com relação à diferença entre T-0 (PFPA) e T-0 (PSPA), o melhor resultado obtido foi de 81,2%, e entre T-3 (PFPA) e T-3 (PSPA), foi de 84,4.

Gráfico 12 – Médias do peso fresco de parte aérea (PFPA) e do peso seco de parte





#### 4.4.2.5 Peso fresco de raiz (PFR) e peso seco de raiz (PSR)

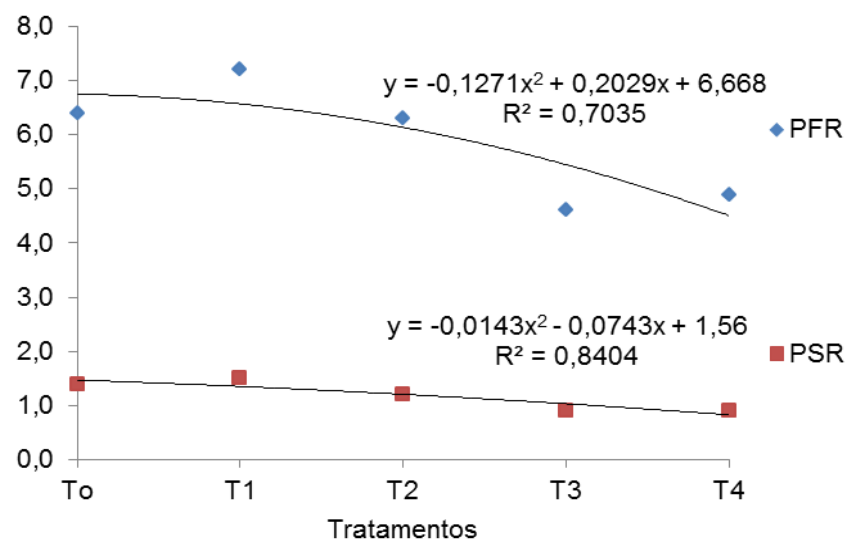
Na variável peso fresco de raiz (PFR) (Gráfico 13), o melhor resultado foi obtido no tratamento T-1 (7,2 g), que não difere estatisticamente de T-0 (6,4 g) e T-2 (6,29 g), mas difere de T-3 (4,6 g) e T-4 (4,9 g). Em termos de percentuais, a diferença de T-1 para T-0 é de 11%, de 12,6% para T-2, de 36,1% para T-3 e de 31,9% para T-4. Também houve efeito significativo entre a adubação já que com NP difere de NPK estatisticamente.

Quanto ao peso seco de raiz (PSR) (Gráfico 13), o maior ganho de massa seca foi obtido pelo tratamento T-1 (1,5 g) que não difere de T-0 (1,4 g) e de T-2 (1,2 g) porém difere de T-3 (0,9 g) e de T-4 (0,9 g). Entre as adubações, houve efeito significativo em que o melhor resultado obtido para NP (6,5 g) difere de NPK (5,3 g).

Em termos de percentuais, T-1 obteve um ganho em comparação com o controle T-0 de 6,6%, para T-2, foi de 20%, e para T-3 e T-4 foi de 40%.

Se compararmos a diferença entre PFR e PSR, os resultados mostram que, após a desidratação, o peso diminuiu 78,1% em T-0 (PFR), 79,1% em T-1, 80,9% em T-2, 80,4% no tratamento T-3 e 81,6% no tratamento T-4. Estes dados demonstram uma tendência ao aumento do percentual de massa quando ocorre o aumento da concentração do tratamento.

Gráfico 13 – Médias do peso fresco de raiz (PFR) e do peso seco de raiz (PSR)



## 4.5 Análise dos teores de macro e micronutrientes nas plantas e nos solos

### 4.5.1 Análise dos teores de macro e micronutrientes nos solos

Após a coleta de dados de crescimento das plantas ao fim dos 60 dias após a semeadura (DAS), foram retiradas dos vasos as amostras de solo conforme os tratamentos, para envio à Embrapa e análise por esta entidade.

As amostras foram secadas em sacos plásticos ao ar livre, peneiradas (Figura 14) e devidamente identificadas.

A Tabela 10 apresenta as médias resultantes das análises químicas dos macros e micronutrientes observados nos solos de acordo com o tratamento e tipo de adubação. A seguir, essas médias serão analisadas em conjunto com suas concentrações nos tecidos das plantas.

**Tabela 10 – Médias das análises químicas dos solos conforme o tratamento aplicado**

Médias das análises químicas dos solos conforme o tratamento aplicado.															
Tratamentos	pH		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	N	Cu	Fe	P	Zn	Cr	Ni	Pb
	H <sub>2</sub> O	KCl 1N	cmolc/kg				g/kg			mg/kg					
Solo original	5,6	4,6	2,000	0,300	0,150	0,020	0,100	0,900	0,498	38,200	1,000	0,347	0,098	0,087	0,873
NPK-T0	5,5	4,9	2,725	1,450	0,170	0,190	0,050	1,025	0,511	56,675	3,500	0,553	0,083	0,105	1,049
NPK-T1	5,7	5,2	3,075	1,725	0,240	0,738	0,025	1,000	0,380	57,950	3,500	1,473	0,083	0,099	1,004
NPK-T2	5,7	5,1	3,100	1,500	0,203	0,330	0,000	1,100	0,438	77,175	3,750	0,949	0,047	0,104	1,113
NPK-T3	5,6	5,0	2,725	1,325	0,223	0,333	0,025	1,100	0,469	109,400	5,500	0,999	0,075	0,116	1,240
NPK-T4	6,0	5,4	2,925	1,225	0,205	0,153	0,000	1,200	0,404	104,275	6,250	0,879	0,106	0,103	1,160
NP-T0	5,5	4,8	2,500	1,525	0,103	0,153	0,050	1,050	0,459	78,350	1,750	0,542	0,073	0,116	1,213
NP-T1	5,7	5,0	3,025	1,450	0,115	0,685	0,025	1,050	0,574	83,525	4,250	2,185	0,107	0,108	1,153
NP-T2	5,7	5,1	2,900	1,600	0,118	0,383	0,000	1,125	0,620	124,700	5,000	2,038	0,073	0,120	1,288
NP-T3	6,1	5,4	3,175	1,800	0,143	0,188	0,025	1,175	0,543	106,550	5,500	1,109	0,106	0,111	1,188
NP-T4	5,7	5,0	3,225	1,350	0,133	0,205	0,000	1,225	0,465	112,750	7,750	1,143	0,127	0,123	1,348

### 4.5.2 Análise dos teores de macro e micronutrientes nas partes aéreas e nas raízes

Após as medições das variáveis de crescimento, as plantas foram cortadas em duas partes (parte aérea e raiz), desidratadas, moidas e ensacadas para análise dos teores de macro e micronutrientes.

A Tabela 11 apresenta o resumo da análise de variância referente aos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) para partes aéreas. Os resultados indicam que, para a fonte de variação tratamento, houve efeito significativo a ( $p \leq 0,05$ ) para K e de ( $p \leq 0,01$ ) para Ca, Mg, Cu e Fe, sendo que para N, P, Mn e Zn não foram significativos. Para a fonte de variação K, houve efeito significativo a ( $p \leq 0,05$ ) para os teores de K e Fe, não sendo significativo para N, P, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn. Conforme os resultados na interação Trat. x K, o efeito foi significativo para o teor de Fe e não significativo para os demais.

**Tabela 11** – Análise multivariada e teste de médias (Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade) da interação entre cinco tratamentos, adubação e macro e micronutrientes de partes aéreas

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios								
		N (g/kg)	P (mg/kg)	K (g/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Trat.	4	10,9 <sup>ns</sup>	45612,6 <sup>ns</sup>	48,8*	1549929,3**	1365017,4**	2589,3**	2666,7**	2563,1 <sup>ns</sup>	6,7 <sup>ns</sup>
K	1	4,4 <sup>ns</sup>	31472,1 <sup>ns</sup>	68,3*	207648,1 <sup>ns</sup>	165636,9 <sup>ns</sup>	357,7 <sup>ns</sup>	2382,3*	300,3 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
Trat. * K	4	6,8 <sup>ns</sup>	14197,5 <sup>ns</sup>	5,3 <sup>ns</sup>	103386,1 <sup>ns</sup>	207768,2 <sup>ns</sup>	310,6 <sup>ns</sup>	1604,3*	720,01 <sup>ns</sup>	2,4 <sup>ns</sup>
Resíduos	30	5,2	27688,2	13,2	205573,78	172206,1	192,1	433,3	1010,4	5,03
CV (%)	—	21,4	26,3	18,4	16,4	17,9	46,8	39,3	33,1	25,8

Tratamentos	Médias								
	N (g/kg)	P (mg/kg)	K (g/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
T-0	11,9a	723a	16,6b	3311,3a	2986,9a	49,8a	75,5a	73,3b	9,9a
T-1	8,7a	610,1a	18,4ab	3004,4ab	2415,5ab	41,7a	61,7a	88,09ab	9,02a
T-2	11,02a	679,8a	23,3a	2827,8abc	2142,3b	32,9ab	51,1ab	120,6a	8,8a
T-3	10,7a	524,5a	19,7ab	2266,8c	2021,8b	18,3c	50,06ab	105,1ab	7,8a
T-4	10,7a	617,7a	20,05ab	2355,4c	1990,6b	5,07c	25,8b	92,5ab	7,7a
<b>Adubação</b>									
NP	10,3a	659,1a	18,3b	2825,2a	2247,1a	26,6a	45,1b	93,2a	8,7a
NPK	11,01a	603a	20,9a	2681,1a	2375,8a	32,5a	60,5a	98,7a	8,6a

Tratamentos = T-0 (água), ( T-1 (5%), T-2 (10%), T-3 (20%) e T-4 (40%) de diluição) . \*\* e \* significativos a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente , ns - não significativo pelo teste de Tukey. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada coluna não diferem entre si.

A Tabela 12 apresenta o resumo da análise de variância com dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) observados nos tecidos das raízes. Conforme a análise de variância, os quadrados médios apresentaram efeitos estatísticos significantes. Para a fonte de variação tratamento, os efeitos foram significativos a ( $p \leq 0,01$ ) nos teores de N, K e Ca e não foram significativos em P, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn. Para a fonte de variação adubação (K), houve efeito significativo para o teor de P a ( $p \leq 0,01$ ) e de K a ( $p \leq 0,05$ ), não sendo significativo

para os demais teores. Quanto à interação Trat. x K, o teor que apresentou efeito significativo foi o de Zn, a ( $p \leq 0,05$ ), sendo que para os demais não houve efeito.

**Tabela 12** – Análise multivariada e teste de médias (Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade) da interação entre cinco tratamentos, adubação e macro e micronutrientes de raízes

Fonte de variação	DF	Quadrados médios								
		N (g/kg)	P (mg/kg)	K (g/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Trat.	4	6,8**	7441,6 <sup>ns</sup>	34,5**	118756,3**	664252,1**	7,3 <sup>ns</sup>	1728157,2 <sup>ns</sup>	796 <sup>ns</sup>	38,3 <sup>ns</sup>
K	1	0,42 <sup>ns</sup>	82083,6**	38,2*	4972,9 <sup>ns</sup>	151782,4 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>ns</sup>	56400,1 <sup>ns</sup>	3370,8 <sup>ns</sup>	6,9 <sup>ns</sup>
Trat. * K	4	0,59 <sup>ns</sup>	1619 <sup>ns</sup>	8,6 <sup>ns</sup>	157703,7 <sup>ns</sup>	1884,5 <sup>ns</sup>	3,005 <sup>ns</sup>	345810,1 <sup>ns</sup>	1279 <sup>ns</sup>	74,3*
Resíduos	30	1,02	8985,2	6,5	60999,01	93882,4	2,95	996880,6	1574,6	14,5
CV (%)	–	13	15,8	14,1	18,3	14,8	40,3	69,6	36,6	26,2

Tratamentos	Médias								
	N (g/kg)	P (mg/kg)	K (g/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
T-0	7,9a	615,1a	15,5b	1353,9a	2545,9a	5,2a	1084a	91,9a	13,8a
T-1	6,3b	616,1a	17,7ab	1495,8a	2108,3ab	5,2a	1356,1a	110,3a	14,5a
T-2	7,7ab	609,5a	20,7a	1325a	1975b	3,6a	925,8a	118,9a	12,8a
T-3	8,09a	543,7a	19,7a	1160,5a	1835,6b	3,2a	1759,1a	107,7a	13,2a
T-4	8,8a	603a	17,08ab	1391,4a	1869,3b	3,8a	2043,5a	111,7a	18,3a
<b>Adubação</b>									
NP	7,6a	642,8a	17,1b	1333,9a	2128,4a	3,9a	1396,2a	98,9a	14,1a
NPK	7,8a	552,2b	19,1a	1356,2a	2005,2a	4,5a	1471,3a	117,3a	14,9a

Tratamentos = T-0 (água), ( T-1 (5%), T-2 (10%), T-3 (20%) e T-4 (40%) de diluição). \*\* e \* significativos a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente, ns - não significativo pelo teste de Tukey. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada coluna não diferem entre si.

#### 4.5.3 Teores de nitrogênio (N)

No solo, houve aumento na concentração de nitrogênio (N) para o tratamento controle T-0 (15%), T-1 (15%), T-2 (25%), T-3 (30%) e T-4 (35%), independente da adubação, neste caso, diferente do percentual na parte aérea.

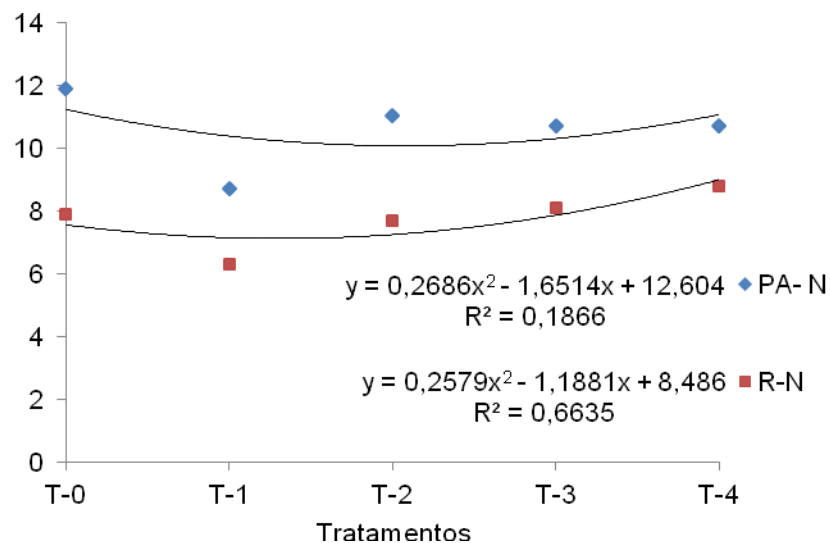
Os teores de N na parte aérea (Gráfico 14) não influenciaram no desenvolvimento das plantas em análise. O nitrogênio fundamental no desenvolvimento das plantas não teve efeito significativo entre as médias calculadas, sendo que o maior valor observado foi no tratamento T-0 (11,0 g/kg) com aproximadamente 26,9% para T-1 (8,7 g/kg), de 7,3% para T-2 (11,02 g/kg) e de 10,08% para T-3 (10,7 g/kg) e para T-4 (10,7 g/kg).

Mesmo as diferenças não tendo sido significativas, os valores médios ficaram bem abaixo do ideal. Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), os teores adequados de N para o crescimento normal de uma planta variam entre 20 e 50 g/kg. Considera-se que o baixo suprimento de N vai influenciar no desenvolvimento

das plantas, como no seu crescimento, no tamanho das folhas e na sua produção (MAFFEIS; SILVEIRA; BRITO, 2000). Rodrigues (2008), trabalhando com água residuária em mamoneiras, observou médias de 11,70 g/kg e de 13,26 g/kg em folhas, o que também indica a necessidade de aumentar a dosagem de N. Assim, se deduz que o aporte da água residuária e da adubação mineral não foram suficientes.

Nos teores de N para a raiz (Gráfico 14), a melhor resposta foi observada no tratamento T-4 (8,8 g/kg), que difere de T-1 (6,3 g/kg) e não difere das demais médias. Em termos percentuais, T-4 apresentou ganho de 10,2% para T-0 (7,9 g/kg), de 28,4% para T-1 (6,3 g/kg), de 12,5% para T-2 (7,7 g/kg) e de 8,18% para T-3 (8,09 g/kg). Mesmo tendo a maior média, o nitrogênio não contribuiu para o desenvolvimento das plantas com tratamento T-4. A análise das variáveis de crescimento (Tabela 9) demonstra que, neste tratamento, as plantas não se desenvolveram.

Gráfico 14 – Médias dos teores de nitrogênio (N) em partes aéreas e em raízes



#### 4.5.4 Teores de fósforo (P)

Quanto às análises do solo (Tabela 10), houve um aumento significativo da concentração de fósforo (P): T-0 (250%), T-1 (300%), T-2 (350%), T-3 (400%) e T-4 (500%).

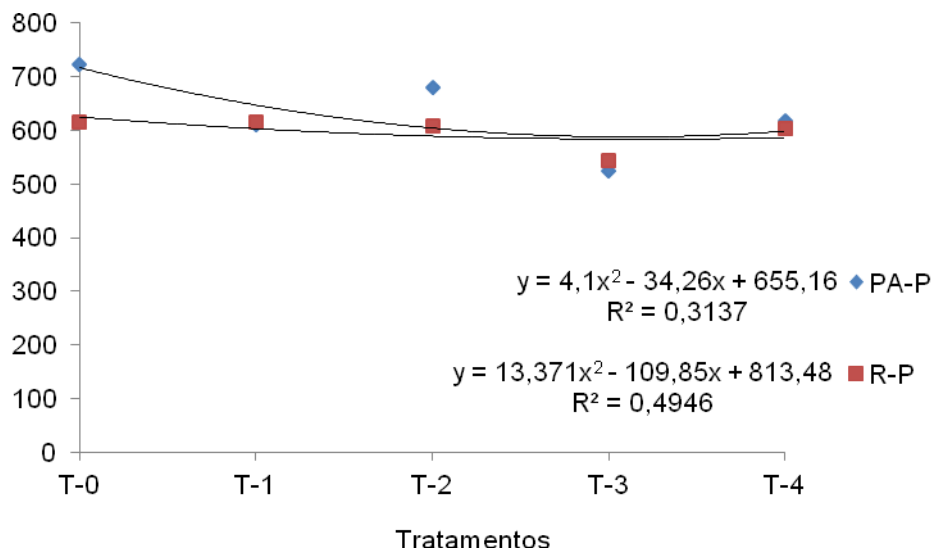
O comportamento do fósforo nos vegetais é fundamental para o metabolismo celular (MARSCHENER, 1995). Devido à sua absorção pelas partículas de solo ou a transformação em P orgânico, muito do que é aplicado para nutrir as plantas é desperdiçado (MARENCO; LOPES, 2007)

Os teores de P na parte aérea (Gráfico 15) também não foram significativos estatisticamente e não diferiram entre si. O tratamento T-0 (723 mg/kg) apresentou teor 6,08% maior em relação a T-2 (679 mg/kg), 14,5% para T-4 (617,7 mg/kg), 15,6% para T-1 (610 mg/kg) e 27,4% para T-3 (524,5 mg/kg). Quanto à adubação, as médias não diferem entre si.

Com relação aos teores de P nas raízes (Gráfico 15), as médias não diferiram entre si. Foi observado que a maior média foi no tratamento T-1 (616 mg/kg), 0,16% maior em relação a T-0 (615,1 mg/kg), 1,07% para T-2 (609,5 mg/kg), 2,12% para T-4 (603 mg/kg) e 11,7% para T-3 (543,7 mg/kg).

Segundo Dechen e Nachtigall (2007), os teores de P nas plantas variam de 0,5 a 3,0 g/kg de sua matéria seca. De acordo com os nossos resultados, tais teores estão dentro da faixa, não sendo um fator limitante ao crescimento das plantas.

**Gráfico 15** – Médias dos teores de fósforo (P) em partes aéreas e em raízes



#### 4.5.5 Teores de potássio (K)

O potássio (K) é o nutriente de maior relevância para este estudo, não só por ser requerido em numerosas enzimas no metabolismo vegetal, participando do processo da fotossíntese, da respiração, e da síntese de amidos, entre outras funções (MARSCHENER, 1995), mas por se tratar do elemento químico em maior quantidade no efluente e por seu valor comercial.

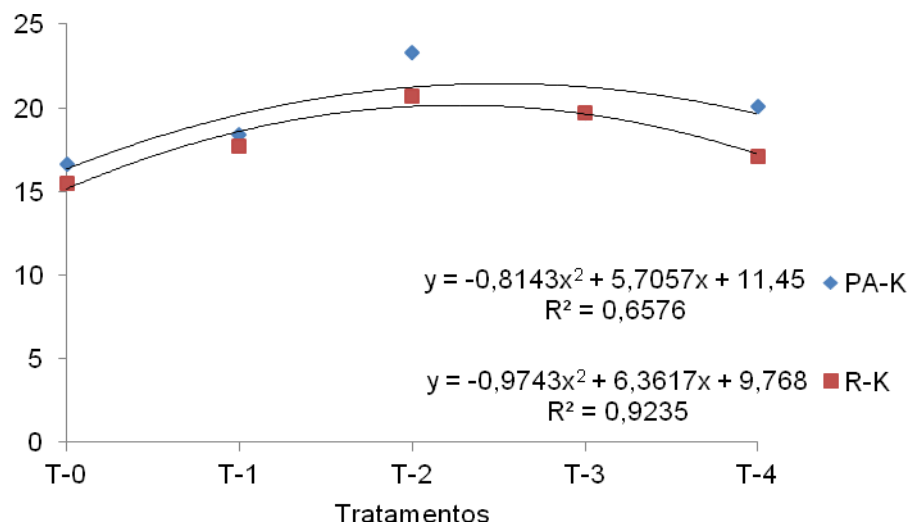
A concentração de K teve comportamento distinto conforme a adubação. Como a adubação foi realizada com e sem potássio, os resultados seguiram a tendência de acordo com a quantidade acumulada entre a adubação e a concentração na água. Para os solos com adubação NPK, houve um aumento percentual de: T-0 (113%), T-1 (60%), T-2 (35%), T-3 (48%) e T-4 (36%). Por outro lado, na adubação com NP, houve um decréscimo de K em relação ao solo original em percentuais de: T-0 (-32%), T-1 (-24%), T-2 (22%), T-3 (5%) e T-4 (12%).

Ao observar os resultados de K (parte aérea) (Tabela 11), verifica-se que foi significativo na fonte de variação tratamento e de adubação com NP, porém não houve interação entre ambas. A maior média foi obtida no tratamento T-2 (23,3 mg/kg) que difere de T-0 (16,6 mg/kg) com 28,7% a mais, mas não difere de T-1 (18,4 mg/kg) com 21,03%, de T-3 (19,7 mg/kg) com 18,15% e de T-4 (20,05 mg/kg) com 13,94% (Gráfico 16). De acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), os teores médios adequados de K em uma planta podem variar de 10 a 30 g/kg. Conforme os resultados (Figura 13), todos tratamentos estão dentro da média.

A melhor média de teor de K na raiz (Gráfico 16; Tabela 12) foi encontrada no tratamento T-2 (20,7 mg/kg) que difere de T-0 (15,5 mg/kg) com 25,1% a mais e não difere dos demais tratamentos. Conforme os resultados, o tratamento T-2 obteve 14,4% para T-1 (17,7 mg/kg), de 4,8% para T-3 (19,7 mg/kg) e de 14,01% para T-4 (17,8 mg/kg). Diferente do comportamento dos teores de K nas partes aéreas, os resultados foram melhores para a fonte de variação adubação (NPK). Os teores de K para partes aéreas e raízes estão adequados às recomendações.

As plantas têm comportamentos distintos no que diz respeito às necessidades de K para seu desenvolvimento. Algumas hortaliças como o alface, o alho e o aipo necessitam em média de 30 a 80 g·kg<sup>-1</sup> de matéria seca (BOARETTO et al., 1999), já a mamoneira requer valores entre 20 a 30 g·kg<sup>-1</sup> (RODRIGUES, 2008).

Gráfico 16 – Médias dos teores de potássio (K) em partes aéreas e em raízes



#### 4.5.6 Teores de cálcio (Ca)

No solo, as concentrações de cálcio (Ca) tiveram comportamentos próximos, indiferente da adubação, com aumentos percentuais para os tratamentos de: T-0 (30%), T-1 (50%), T-2 (50%), T-3 (50%) e de T-4 (55%).

O Ca na parte aérea teve efeito significativo a ( $p \leq 0,01$ ) na fonte de variação tratamento (Tabela 12). Conforme o Gráfico 17, a melhor média foi observada no tratamento controle T-0 (3311,3 mg/kg) com 9,26% a mais que que T-1 (3004,4 mg/kg), de 14,6% para T-2 (2827,8 mg/kg), de 31,5% para T-3 (2266,8 mg/kg) e de 28,8% para T-4 ( 2355,4 mg/kg). Na fonte de variação adubação K, houve efeito estatístico significativo e o melhor resultado foi para a adubação NPK.

O Ca é importante para a planta pois auxilia na formação celular, principalmente em plantas novas, já que ficam em evidência nos tecidos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

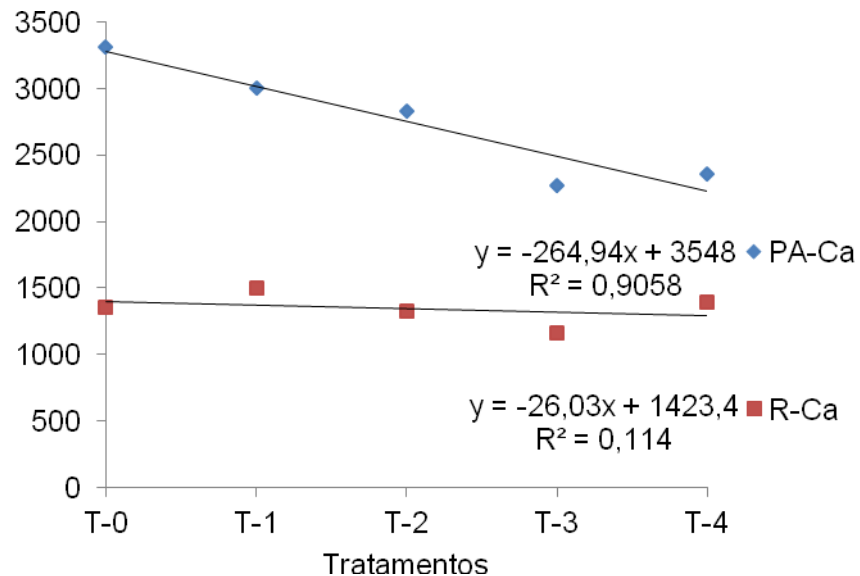
Nas raízes, os teores de Ca, conforme observado na Tabela 12, não tiveram efeito significativo em nenhuma fonte de variação. Conforme o Gráfico 17, o tratamento que obteve a maior média foi T-1 (1495,8 mg/kg), com 9,48% para T-0 (1353,9 mg/kg), 11,4% para T-2 (1325 mg/kg), 22,4% para T-3 (1160,5 mg/kg) e 6,9% para T-4 (1391,4 mg/kg).

Conforme Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), teores de Ca abaixo de 4g/kg constituem deficiência. De acordo com esses autores, o ideal para seu



desenvolvimento varia de 10 a 50 g/kg, diferente dos resultados encontrados, em que a média mais alta chegou a 1,49 g/kg.

Gráfico 17 – Médias dos teores de cálcio (Ca) em partes aéreas e em raízes



#### 4.5.7 Teores de magnésio (Mg)

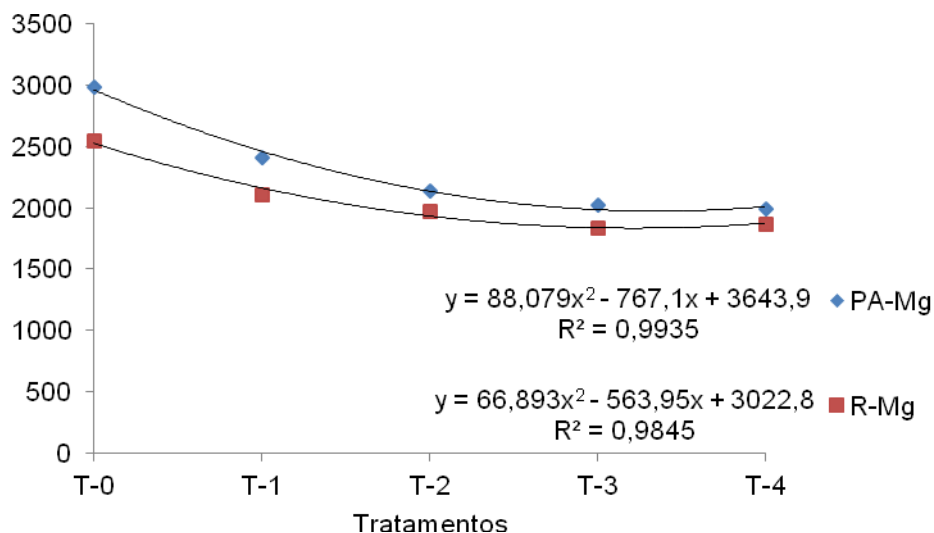
O magnésio (Mg) teve um aumento médio de 350% em todos os tratamentos, independente da adubação. Porém, na análise da água residuária, não foi identificado o elemento químico. Este aumento no percentual sugere-se na água utilizada na diluição.

Sendo considerado um nutriente de grande mobilidade, seu papel na planta está associado à estrutura da clorofila (MARCHENER, 2005). Conforme Tabela 12, estatisticamente o comportamento do Mg foi significativo na fonte de variação tratamento a ( $p \leq 0,001$ ) e não foi significativo na adubação e tampouco na interação Trat. x K. Conforme o Gráfico 18, a maior média foi observada no tratamento T-0 (2986,9 mg/kg) com o percentual de 19,13% para T-1 (2108,3 mg/kg), de 28,2% para T-2 (2142 mg/kg), de 32,3% para T-3 (2021,8 mg/kg) e de 33,3% para T-4 (1990,6). A falta de magnésio pode influenciar no mau funcionamento dos cloroplastos e agir diretamente na fotossíntese e, conseqüentemente, no seu desenvolvimento (MARSCHNER, 1995).

A concentração ideal do teor de magnésio nos tecidos do pinhão-mansão foi observada por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) como 3,71 g/kg, sendo que os autores consideram como o ideal a faixa de 3 a 5 g/kg. Diante do nosso resultado, os teores de Mg estão abaixo da nutrição ideal.

Com relação às raízes, os teores de Mg tiveram efeito significativo na fonte de variação tratamento a ( $p \leq 0,001$ ), sendo que entre as médias (Gráfico 18), o tratamento T-0 (2545,9 mg/kg) não difere significativamente de T-1 (2108,3 mg/kg), porém, difere dos outros tratamentos com o percentual de 22,4% a mais que T-2 (1975 mg/kg), de 27,8% em relação a T-3 (1835,6 mg/kg) e de 26,5% em relação a T-4 (1869,3 mg/kg).

**Gráfico 18** – Médias dos teores de magnésio (Mg) em partes aéreas e em raízes



#### 4.5.8 Teores de cobre (Cu)

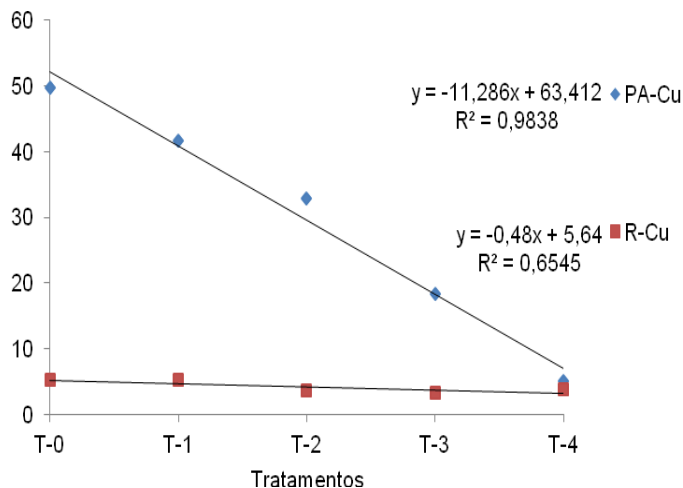
Os teores de cobre (Cu) apresentaram comportamentos distintos no solo em função da adubação. Na adubação com NPK, o aumento dos teores de cobre só ocorreu no tratamento controle, nos demais, houve efeito negativo, como se segue: T-0 (2%), T-1 (-24%), T-2 (-13%), T-3 (-6%) e T-4 (-19%). Na adubação sem o potássio (NP), os percentuais foram: T-0 (8%), T-1 (15%), T-2 (24%), T-3 (9%) e T-4 (-7%).

O cobre tem a função de atuar na cadeia respiratória da planta e está presente em várias enzimas, tendo sua mobilidade limitada à relação nutricional entre cobre e nitrogênio (MARSCHNER, 1995).

Conforme Tabela 11, o cobre na parte aérea apresentou efeito significativo a ( $p \leq 0,001$ ) na fonte de variação tratamento, e nas demais não foi significativo. No Gráfico 19, observamos que, nas médias, o tratamento T-0 não difere de T-1 e T-2, mas difere de T-3 e T-4. A maior média T-0 (49,8 mg/kg) tem um percentual de 16,2% a mais que T-1 (41,7 mg/kg), para T-2 (32,9 mg/kg) o percentual é de 33,9%, para T-3 (18,3 mg/kg) a diferença é de 63,25% e para T-4 (5,7 mg/kg) o percentual foi de 89,8%. Em termos de eficiência nutricional, a faixa ideal é de 4-20 mg/kg (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Analisando os resultados, no que diz respeito à parte aérea, somente o tratamento T-4 se enquadraria, pois os outros tratamentos estariam acima da faixa, causando assim toxidez. Sugere-se que o alto teor de cobre deva-se à água fornecida pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro e de passar por tubulações de ferro.

Por outro lado, os teores de cobre observados na raiz estão bem próximos do que foi observado por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Nas raízes não houve efeito significativo para nenhuma fonte de variação e as médias não diferiram entre si. Conforme a Figura 28, a maior média foi observada em dois tratamentos T-0 (5,2 mg/kg) e T-1 (5,2 mg/kg), os mesmos com um percentual de 30,7% a mais que T-2 (3,6 mg/kg), de 38,4% a mais que T-3 (3,2 mg/kg) e de 26,9% a mais que T-4 (3,8 mg/kg).

Gráfico 19 – Médias dos teores de cobre (Cu) em partes aéreas e em raízes



#### 4.5.9 Teores de ferro (Fe)

O comportamento do ferro (Fe) no solo seguiu a tendência de aumento em função do aumento da concentração da água residuária. Tanto para a adubação com ou sem K, os aumentos variaram de 250% a 675%, já que na água os teores de Fe estavam acima do permitido.

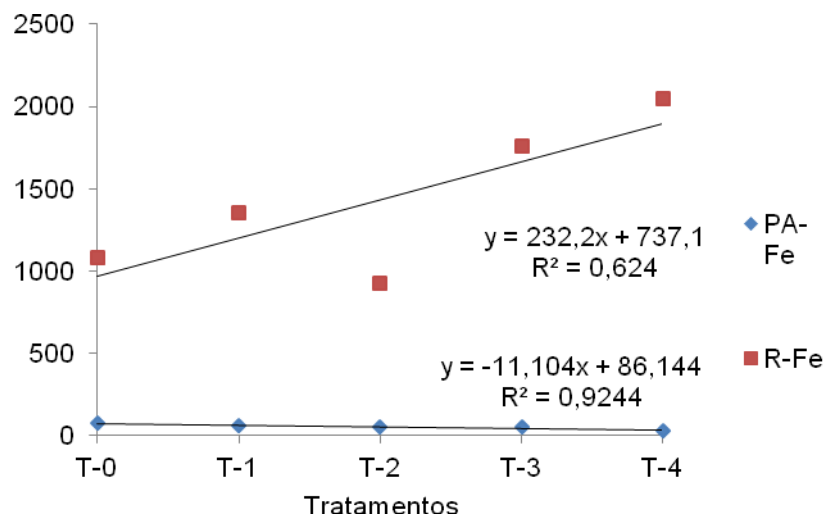
Conforme a Tabela 11, o Fe na parte aérea foi o único elemento a apresentar efeito significativo em todas as fontes de variação. No tratamento, foi significativo a  $p \leq 0,001$ , na adubação, a  $p \leq 0,005$ , e na interação Trat. x K, a  $p \leq 0,005$ .

O Fe é de fundamental importância para as plantas, por formar as enzimas e proteínas que regulam a entrada de  $O_2$  para as bactérias fixadoras de  $N_2$  (MENGEL et al., 2001). Conforme o Gráfico 20, a maior média foi observada no tratamento controle T-0 (75,5 mg/kg) com percentual de 18,2% a mais que T-1 (41,7 mg/kg), de 32,31% a mais que T-2 (51,1 mg/kg), de 33,6% a mais que T-3 (50,6 mg/kg) e de 65,8% a mais que T-4 (25,8mg/kg).

Segundo Dechen e Nachtigall (2007), de acordo com a parte da planta, os teores de Fe podem variar de 10 a 1500 mg/kg. Porém, outros autores afirmam que a faixa ideal de teor de Fe vai de 10 a 80 mg/kg (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Desta forma, os teores obtidos na parte aérea estão em conformidade com as faixas.

Nas raízes, os teores de Fe não foram significativos em nenhuma das fontes de variação (Tabela 15). As medidas observadas no Gráfico 20 não diferem entre si, tendo a maior média no tratamento T-4 (2043,5 mg/kg), com 46,9% a mais que o tratamento controle T-0 (1084 mg/kg), 33,6% a mais que T-1 (1356,1 mg/kg), 54,6% a mais que T-2 e 13,9% a mais que T-3. Estes resultados corroboram Dechen e Nachtigall (2007), evidenciando que, de acordo com as partes da planta, há uma variação nos teores e podemos considerar que os valores altos de T-3 e T-4 indicam toxidez.

**Gráfico 20** – Médias dos teores de ferro (Fe) em partes aéreas e em raízes



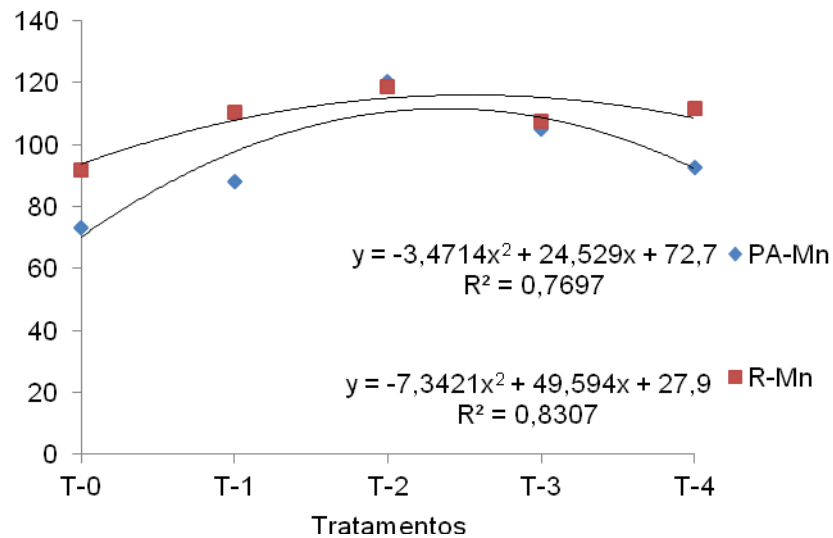
#### 4.5.10 Teores de manganês (Mn)

O manganês (Mn) contribui para a oxieredução de outros elementos como o  $Fe^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  e o  $Ca^{+2}$ , além de acelerar a germinação e aumentar a resistência da planta à seca, beneficiando o sistema radicular (MARSCHNER, 1995). Os teores de Mn na parte aérea não apresentaram efeito significativo nas fontes de variação (Tabela 13). No Gráfico 21, observa-se que o tratamento T-2 difere de T-0 mas não de T-1, T-3 e T-4. O percentual de ganho de T-2 (120,6 mg/mg) foi de 39,2% para T-0 (73,3 mg/kg), de 26,9% para T-1 (88,09 mg/kg), de 12,8% para T-3 (105,1 mg/kg) e de 23,3% para T-4 (92,5 mg/kg).

Nas raízes, os teores de Mn também não tiveram efeito significativo para as fontes de variação (Tabela 12) e as médias não diferem entre si (Gráfico 21). A maior média foi observada no tratamento T-2 (118,9 mg/kg), com 22,7% a mais que T-0 (91,9 mg/kg), 7,2% a mais que T-1 (110,3 mg/kg), 9,4% a mais que T-3 (107,7 mg/kg) e 6,05% a mais que T-4 (111,7 mg/kg).

Marschner (1995) considera teores entre 20 e 500 mg/kg ideais para o desenvolvimento das plantas, com o que o presente estudo está em conformidade. Alguns autores evidenciaram em seus experimentos valores iguais ou maiores que os obtidos nesta pesquisa. Em mamoneiras, Junior (2005) observou médias de 80,86 mg/kg. Barros Junior (2007) observou valores médios que chegaram a 4000 mg/kg em folhas.

Gráfico 21 – Médias dos teores de manganês (Mn) em partes aéreas e em raízes



#### 4.5.11 Teores de zinco (Zn)

A concentração do zinco (Zn) no solo teve um aumento em todos os tratamentos independente da adubação. Entretanto, no tratamento controle (T-0), o aumento foi em torno de 56% tanto para adubação NP como para NPK. A partir do tratamento T-0, os aumentos foram, para adubação NP, os seguintes percentuais: T-1 (324%), T-2 (173), T-3 (187%) e T-4 (153%). Na adubação NPK houve aumentos percentuais de: T-1 (529%), T-2 (487%), T-3 (219%) e T-4 (229%).

O Zn é de fundamental importância nos processos metabólicos das plantas e do ser humano, por ser parte de várias enzimas e por auxiliar no metabolismo de carboidratos e proteínas (PRICE et al., 1972).

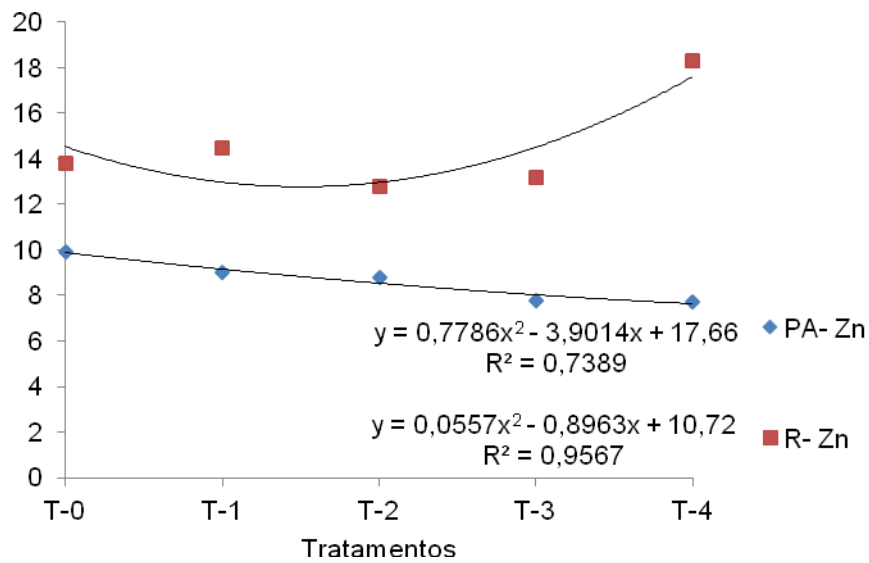
Os teores de Zn na parte aérea, conforme o Gráfico 22, não tiveram efeito significativo a nenhuma fonte de variação e as médias (Figura 13), não diferem entre si. A maior média foi observada no tratamento T-0 (9,9 mg/kg) com 8,8% a mais que T-1 (9,02 mg/kg), 11,11% a mais que T-2 (8,8 mg/kg), 21,21% a mais que T-3 (7,8 mg/kg) e 22,2% a mais que T-4 (7,7 mg/kg).

Nas raízes, os teores de Zn foram significativos na interação entre tratamento e K a ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 12). As médias não diferem entre si e, conforme Gráfico 22, a maior média foi no tratamento T-4 (18,3 mg/kg), com 24,5% a mais que T-0 (13,8

mg/kg), 20,7% a mais que T-1 (14,5 mg/kg), 30,05% a mais que T-2 (12,8 mg/kg) e 27,8% a mais que T-3 (13,2 mg/kg).

Segundo Marschner (1995), os níveis críticos de deficiência de Zn estão na faixa de 15 a 20 mg/kg. Assim, podemos afirmar que houve carencia de Zn no solo ou na água residuária.

Gráfico 22 – Médias dos teores de zinco (Zn) em partes aéreas e em raízes



## CONCLUSÕES

Foram estudadas as águas residuárias do processo de produção de biodiesel. As águas oriundas da lavagem do biodiesel, após tratamento feito na empresa, foram caracterizadas quimicamente. Sendo que o objetivo foi de identificar nestas águas, devolvidas aos corpos hídricos, elementos que possam ser reutilizados na fertirrigação. Os resultados apresentaram uma alta concentração de potássio ( $K=1912$  mg/l), macronutriente utilizado na adubação das plantas.

No presente trabalho, na fase de germinação os parâmetros avaliados foram plântulas normais, Índice de Velocidade de Germinação - IVG, Índice de Velocidade de Emergência – IVE, crescimento de partes aéreas e de raízes. Os resultados obtidos para as médias não diferiram entre si para ( $p \geq 0,05$  e  $p \geq 0,01$ ). Portanto, na fase de germinação a água residuária não influenciou nos resultados, comparados com a água pura.

Nos testes com vasos que receberam a adubação dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (N.P.K.) em vinte (20) vasos e nitrogênio e fósforo (NP) nos outros vinte (20) vasos irrigados com água pura T-0 (testemunha), água residuária em diluições (tratamentos) T1: 5%, T2:10%, T3:20% e T4:40%. Os resultados obtidos por meio de análise estatística multivariada dos valores observados nos parâmetros de crescimento e de teores de elementos químicos nas folhas e raízes de acordo com a irrigação foi de que nos tratamentos T1: 5% e T2:10% obtiveram os melhores resultados e não diferiram entre si, mas, diferiram dos outros tratamentos nas médias observadas incluindo a testemunha.

Conforme os resultados foram constatados alta concentração de ferro nos solos dos vasos, considerando um efeito acumulativo pela disponibilidade de ferro na água residuária e no solo para os tratamentos T3:20% e T4:40%, que influenciam no desenvolvimento das plantas pela toxidez em suas raízes.

Os resultados apresentados demonstram que o reaproveitamento das águas residuárias tratadas provenientes da produção de biodiesel poderá ser usado na irrigação de plantas nas diluições de 5 e 10% substituindo a adubação manual de potássio.

O uso destas águas pode ser uma estratégia para programas de gestão ambiental das empresas e do poder público.



## REFERÊNCIAS

- ADAM, S. E. Toxic effects of *Jatropha curcas* in mice. *Toxicology*, v. 2, n. 1, p. 67-76, mar. 1974.
- ALARCON, A. L. Fertilizantes para fertirrigación: Tablas prácticas orientativas. In: NAMESNY, A. *Melones*. Barcelona: Ediciones de Horticultura, 1997.
- ALMEIDA, O. A. Qualidade da água para irrigação. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em: <[http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro\\_qualidade\\_agua.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro_qualidade_agua.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2014.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 22. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2012.
- AQUINO, A. R. L.; OLIVEIRA, F. N. S.; ROSSETTI, A. G. Correção do solo para o cultivo do cajueiro cerrado piauiense. *Documentos*, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, v. 81, p. 20, 2004.
- ARRUDA, F. P. de et al. Cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, Campina Grande, PB, v. 8, n. 1, 2004.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. 2. ed revisada. Campina Grande, PB: UFPB, 1999. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Irrigation water quality criteria. In: PETTYGROVE, G. S.; ASANO, T. (Ed.). *Irrigation with reclaimed municipal wastewater: A guidance manual*. Chelsea: Lewis Publishers, 1985.
- BARROS JÚNIOR, G. Efeito do conteúdo de água do solo, monitorado com TDR, sobre o desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona [tese]. Campina Grande, PB: UFCG, 2007.
- BELCHER, E. W. Influence of substrate moisture level on the germination of seed of selected Pinus species. *Seed Sci. & Technol.*, v. 3, n. 3, p. 597-604, 1975.
- BELTRÃO, N. E de M. *Considerações gerais sobre o pinhão manso (Jatropha curcas L.) e a necessidade urgente de pesquisas, desenvolvimento e inovações tecnológicas para esta planta nas condições brasileiras*. Campina Grande, PB: [s.n.], 2006.
- BELTRÃO, N. E. de M. et al. Recomendação técnica sobre o plantio de pinhão manso no Brasil. 2008]. Disponível em <<http://www.cpa0.embrapa.br/portal/noticias/Paper.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2013.
- BERNARDI, C. C. Reuso de água para irrigação [monografia de especialização *lato sensu* modalidade MBA]. Brasília: ISEA-FGV; Ecobusiness School, 2003.

BICUDO, T. C. et al. Estabilidade e tempo de indução oxidativa do óleo de pinhão-manso para produção. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2, Brasília, 2007. *Anais...* Brasília: MCT/ABIPIT, 2007. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/caracterizacao/26.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2014.

BIODIESEL BR. 2007. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/produtos-enfrentam-problema-mercado-19-07-07.htm>> (acesso em mar de 2015).

BLUM, J. et al. Influência do manejo na sustentabilidade do uso agrícola de efluentes: estudo de caso com cana-de-açúcar em Lins-SP. *Revista DAE*, n. 180, p. 61-66, 2009.

BOARETTO, A. E. et al. Amostragem, acondicionamento e preparação das amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F. C. (Org.). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa, 1999, p. 49-73.

BOUWER, H. Integrated water management: Emerging issues and challenges. *Agricultural Water Management*, v. 45, p. 217-228, 2000.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Brasília, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Brasília, 2011.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 13 jan. 2005. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9456.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9456.htm)>. Acesso em: jun. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Regras para análise de sementes*. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. *Governo Federal autoriza uso comercial do biodiesel*. 2014. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/www.mme.gov.br/.../87b69b98-ad18-4628-a23d-93cd290c2e5b>>. Acesso em: março de 2014

BREWER, R. F.; GUILLEMET, F. B.; SHUTHERLAND, F. H. The effects of atmospheric fluoride on gladiolus growth, flowering and corn production. *Proceedings of American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v. 88, p. 634-644, 1965.

BRIAT, J. F.; LEBRUN, M. Plant responses to metal toxicity. *C. R. Académie des Science*, Paris, v. 322, p. 43-54, 1999.

BUKSH, M. A. H. A.. Performance of sunflower in response to exogenously applied salicylic acid under varying irrigation regimes. *Journal of Animal & Plant Sciences*, v. 19, p. 130-134, 2009.

CÁCERES, D. R.; PORTAS, A. A.; ABRAMIDES, J. E. *Pinhão-manso*. [S.l.]: [s.n.], 2007. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_3/pinhaomanso](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/pinhaomanso)>. Acesso em: 17 fev. 2013.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. *Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo*. 2001. Disponível em: <[www.iac.sp.gov.br/ECS/WORD/CAPITU~2.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/ECS/WORD/CAPITU~2.pdf)>. Acesso em: 18 de fev. 2013.

CARNEIRO, P. T. et al. Produção de fitomassa do pinhão manso irrigado com águas salinas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS DE PINHÃO MANSO, 1, 2009, Brasília. *Anais...* Brasília: Embrapa; ABPPM, 2009. CD-Rom.

CAVALLET, L. E. et al. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residuária da indústria de enzimas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 724-729, 2006.

CORREIA, K. G. et al. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila a em amendoim sob condições de salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v. 40, n. 4, p. 514-521, 2009.

CORTESÃO, M. *Culturas tropicais: plantas oleaginosas*. Lisboa: Clássica, 1956.

DASARI, M. A. et al. Low-pressure hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol. *Applied Catalysis A: General*, v. 281, p. 225-231, 2005.

DE BONI, L. A. B. et al. Tratamento físico-químico da água de lavagem proveniente da purificação do biodiesel. *Periódico Tchê Química*, n. 4, 2007.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 91-132.

DEON, M. D. I. et al. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1149-1156, out. 2010.

DIAS, J. M.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; ALMEIDA, M. F. Mixtures of vegetable oils and animal fat for biodiesel production: Influence on product composition and quality. *Energy & Fuels*, v. 22, p. 3889-3893, 2008.

DIAS, L. A. S. et al. *Cultivo de pinhão-manso (Jatropha curcas L.) para produção de óleo combustível*. v. 1. Viçosa, MG: [s.n.], 2007.

DOBROWOLSKI, J. et al. *Opportunities and challenges in agricultural water reuse: Final report*. [S.l.]: USDA-CSREES, 2008.

DRANKA, G. G.; FAUSTO, G. L.; RODRIGUES, M. B. Avaliação do potencial impactante da água residuária do processo de produção do biodiesel. In: ENCONTRO DE QUÍMICA DA REGIÃO SUL, 2008. [S.l.]: SBQSUL, [2008].

DUARTE, A. S. Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun L.*) [tese]. Piracicaba: ESALQ/USP, 2007.

DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. Pinhão manso: Oleaginosa potencial para o biodiesel. *Jornal Agroenergia*, Embrapa Agroenergia, 2009. Edição especial. Disponível em: <<http://www.cnpea.embrapa.br>>. Acesso em: 20 maio 2013.

DUTRA, A. S.; CASTRO, J. R. de; AMARO FILHO, J. Influência da quantidade de água no substrato sobre a germinação de sementes de algodão herbáceo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 9, 1995, Florianópolis. *Anais... Informativo Abrates*, Londrina, v. 5, n. 2, p. 89, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

EMBRAPA. Produção de sementes sadias de feijão comum em várzeas tropicais. *Sistemas de Produção*, n. 4, dez. 2004. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoVarzeaTropical/solos.htm>>. Acesso em: 28 de fev. 2010.

FERNANDES, F.; WEIGERT, W.; ANDREOLI, C. V. Gestão e controles operacionais aplicados à reciclagem agrícola de biossólidos na região metropolitana de Curitiba. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIOSSÓLIDOS, 1, São Paulo, 2003. *Anais...* São Paulo: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2003.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Química Nova*, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.

FIDELIS FILHO, J. et al. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 9, p. 328-332, 2005. Suplemento.

FINOCCHIARO, R. G.; KREMER, R. J. Effect of municipal wastewater as a wetland water source on soil microbial activity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 4, p. 1974-1985, 2010.

FREITAS, A. C. *Regulamentação para reuso da água deve sair em outubro*, 26 jul. 2004. Disponível em: <<http://www.abcon.com.br/news.php/131>>. Acesso em: 17 de maio de 2013

FRIZZONE, J. A. *Controle de irrigação*. Piracicaba, SP: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1990.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil – Agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 7, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Análise & Dados*, v.13, p. 411-437, 2003.

HOEK, W. van der et al. *Urban wastewater: A valuable resource for agriculture. A case study from Horoonabad, Pakistan*. Colombo: International Water Management Institute, 2002.

HOLANDA, A. *Biodiesel e inclusão social*. Brasília: Câmara dos Deputados, 2004. (Cadernos de Altos Estudos).

HOYDONCKX, H. E. et al. Esterification and transesterification of renewable chemicals. *Top. Catal.*, v. 27, n. 83, 2004.

JARUWAT, P.; KONGJAO, S.; HUNSOM, M. Management of biodiesel wastewater by the combined processes of chemical recovery and electrochemical treatment. *Energy Conversion and Management*, v. 51, p. 531-537, 2010.

JUNG, H.; KITTELSON, D. B.; ZACHARIA, H. M. R. Characteristics of SME Biodiesel-Fueled Diesel Particle Emissions and the Kinetics of Oxidation. *Environ. Sci. Technol.*, v. 40, p. 4949-4955, 2006.

JUNIOR, J. L., et al. "Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris." *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40.2 (2005): 145-151.

KORBITZ, W. Biodiesel production in Europe and North American, an encouraging prospect. *Renewable Energy*, v. 16, p.1078-1083, 1999.

LAVIOLA, B. G. Palestra: Recursos genéticos e melhoramento do pinhão manso. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS DE PINHÃO MANSO, Brasília, 2009. *I Congresso Brasileiro de Pesquisas de Pinhão Manso*. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2009. Disponível em: <<http://www.cnpae.embrapa.br>>. Acesso em: 18 jan. 2011.

LAZAROVA, V. et al. Enhancement of integrated water anagement and water reuse in Europe and Middle East. *Water Science and Technology*, v. 42, n. 1-2, p. 193-202, 2000.

LEONARDO, M.; BROETTO, F.; BÔAS, R. L. V.; ALMEIDA, R. S.; ARHCESE, J. A. Produção de frutos de pimentão em diferentes condições salinas. *Revista Irriga*, Botucatu, v. 12, n. 1, p. 73-82, 2007.

LEUNG, D. Y. C. Development of a clean biodiesel fuel in Hong Kong using recycled oil. *Water Air and Soil Pollution*, v. 130, p. 277-282, 2001.

LIMA A. M. G. S. et al. Qualidade fisiológica de sementes de arroz submetidas a estresse salino. *Revista Brasileira de Sementes*, Pelotas, v. 27, n. 1, p. 54-61, 2005.

LIMA, R. de L. S. de et al. Crescimento inicial de mudas de mamoneira em substrato contendo lodo de esgoto e casca de amendoim. *Revista de Oleaginosas e Fibrosas*, v. 9, p. 887-891, 2005.

LUCENA, T. K. *O Biodiesel na matriz energética brasileira* [trabalho de conclusão de curso]. Rio de Janeiro: IE-UFRJ, 2004.

MACÊDO, J. A. B. *Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas*. 2. ed. Belo Horizonte: [s.n.], 2003.

MAFFEIS, A. R.; SILVEIRA, R. L. V. A.; BRITO, J. O. Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento das plantas, produção e qualidade de óleo

essencial em *Eucalyptus citriodora*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 57, p. 87-98, 2000.

MAGUIRE, J.D. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, Madison, v.2, p. 176-177, 1962.

MAKKAR, H. P. S. et al. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, v. 45, n. 8, p. 3152-3157, 1997.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Sobre a sugestão dos metais pesados tóxicos em fertilizantes e sobre a portaria 49 de 25/04/2005 da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Informações agrônômicas*, n. 114, 2006. Disponível em: <[www.inpofos.org/ppiweb/brazil.nsf/.../\\$FILE/Page10-14-114.pdf](http://www.inpofos.org/ppiweb/brazil.nsf/.../$FILE/Page10-14-114.pdf)>. Acesso em: 28 de fev. 2010.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F. Possible methods for biodiesel production. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v. 11, p. 1300-1311, 2007.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. *Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007.

MARQUES, M. O. et al. Uso de esgotos tratados em irrigação: Aspectos agrônômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. (Coord.). *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES; RIMA, 2003, p. 61-116.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. London; New York: Academic Press, 1995.

MATOS, A. T. Tratamento de resíduos agroindustriais. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAS DA ZONA DA MATA MINEIRA, 2, Viçosa, MG, 2002. *Anais...* Viçosa, MG: UFV, 2002, p.105-157.

MATOS, F. S et al. Análise de crescimento e trocas gasosas de acessos de *Jatropha curcas* L. *Agrarian*, v. 5, n. 18, p. 330-336, 2012.

MATOS, F. S. et al. Desenvolvimento de mudas de pinhão-mansão irrigadas com água salina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 4, p. 947-954, 2013.

MENDONÇA, J. F. B. *Solo: Substrato da vida*. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006.

MENGEL, K. et al. *Nitrogen*. [S.l.]: Springer Netherlands, 2001.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft® Excel® 2010. Redmond: Microsoft Corporation, [2010].

MORAIS, F. A. de et al. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 2, p. 327-336, 2011.

MOTA, F. S. B.; SPERLING, M. V. *Nutrientes de esgoto sanitário: Utilização e remoção*. Rio de Janeiro: AESB, 2009.

NASCIMENTO, M. B. H. do et al. Utilização de água residuária e bio-sólido na cultura da mamona: Crescimento e desenvolvimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA – ENERGIA E SUSTENTABILIDADE, 1, Campina Grande, PB, 2004. *Anais...* Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2004.

NERY, A. R. et al. Crescimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 5, p. 551-558, 2009.

NOBRE, R. G. et al. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 7, p. 747-754, 2010.

NOBRE, R. G. et al. Crescimento e produção da mamoneira cultivada sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 3, p. 961-974, 2013.

NOUREDDINI, D. R. *System and process for producing biodiesel fuel with reduced viscosity and a cloud point below thirty-two (32) degrees fahrenheit*. 2001. Patents Held by Members of the Department of Chemical and Biomolecular Engineering. Paper 13.

NOVAIS, R. F.; MELLO, A. W. V. de. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 133-204.

NUNES, C. F. *Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão-manso (Jatropha curcas L.)*. Lavras, MG: [s.n.], 2007.

OLIVEIRA, F. A. et al. Desenvolvimento inicial de cultivares de abóboras e morangas submetidas ao estresse salino. *Agro@ambiente On-line*, v. 8, n. 2, p. 222-229, 2014.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: An oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy*, v. 19, n. 15, p. 1, 2000.

PAGANINI, W. S. *Disposição de esgotos no solo, através de escoamento à superfície, com utilização de gramíneas: avaliação do processo quanto aos aspectos sanitários [tese]*. São Paulo: FSP-USP, 1997.

PAPADOPOULOS, I. Irrigação/Fertirrigação modeling. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON WATER MANAGEMENT, SALINITY AND POLLUTION CONTROL TOWARD SUSTAINABLE IRRIGATION IN THE MEDITERRANEAN REGION, [Itália], 1997. *Proceedings of the Internacional Conference on Water Management, Salinity and Pollution Control toward Sustainable Irrigation in the Mediterranean Region*. [Itália]: [s.n.], 1997.

Paraíba, L. C., A. J. B. Luiz, D. V. PÉREZ. "Estimativa da superfície específica de solos e do coeficiente de sorção de pesticidas." Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (2004).

PARENTE, E. J. S. *Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado*. Fortaleza: Unigráfica, 2003.

PEDRERO, F. et al. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture e review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management*, v. 97, n. 9, p. 1233-1241, 2010.

PEIXOTO, A. R. *Plantas oleaginosas arbóreas*. São Paulo: Nobel, 1973.

PHUKINGNGAM, D.; DARARAT, S.; CHAVALPARIT, O. Study of biogas production potential of biodiesel wastewater. In: NATIONAL ENVIRONMENTAL CONFERENCE (THAILAND), 7. *Proceedings...* Bangkok: Environmental Engineering Association of Thailand, 2008.

POPINIGIS, F. *Fisiologia da Semente*. Brasília : Agiplan, 1977, 297p.

PRADO, R. M. *Nutrição de plantas*. São Paulo: UNESP, 2008.

PRICE, C. A. et al. Functions of micronutrients in plants. In: MONTVEDT, J. J. et al. (Ed.). *Micronutrients in agriculture; Zn, Fe, Mo, Cu, B, Mn*. Madison: Soil Science Society of America, 1972, p. 231-242.

PURCINO, A. A. C.; DRUMMOND, O. A. *Pinhão manso*. Belo Horizonte: EPAMIG, 1986.

RAMOS, L. P. Conversão de óleos vegetais em biocombustível alternativo ao diesel convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. *Anais...* Londrina: Embrapa-Soja, 1999, p. 233-236.

RAMOS, L. P. et al. Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e socioambiental para o Brasil. *Biociência: Ciência e Desenvolvimento*, v. 31, p. 28-37, 2003.

RATHMANN, R. et al. *Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira?*. [S.l.]: [s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/ArtigobiodieselGINCOB-UFRGS.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2014.

REBHUN, M. Desalination of reclaimed wastewater to prevent salinization of soils and groundwater. *Desalination*, v. 160, p. 143-149, 2004.

RIBEIRO, A. TAM vai testar avião movido a pinhão. *Época*, São Paulo, 2010. Planeta. Disponível em: <<http://colunas.epoca.globo.com/planeta/2010/04/28/tam-vai-testar-aviao-movido-a-pinhao/>>. Acesso em: 3 out. 2010.

RODRIGUES, L. N. *Níveis de reposição da evapotranspiração da mamoneira irrigada com água residuária* [tese]. Campina Grande, PB: DEAG-UFGC, 2008.



- SAMARAS, V.; TSADILAS, C. D.; TSIALTAS, J. T. Use of treated waste water as fertilization and irrigation amendment in pot grown processing tomato es. *Journal of Plant Nutrition*, v. 32, n. 5, p.741-754, 2000.
- SAS INSTITUTE INC. SAS System for Windows release 8.02. Cary, NC: SAS Institute Inc., [2002]. Licenciado para Massey University, 1999-2001.
- SATURNINO, H. M. et al. Cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). *Informe agropecuário*, n. 26, p. 44-78, 2005.
- SEDIYAMA, G. C. *Necessidade de água para os cultivos*. Brasília: ABEAS, 1987.
- SERTÃO, M. A. J. *Uso de corretivos e cultivo do capim Urocloa (Urocloamosambicensis (Hack.) Dandy) em solos degradados do Semi-árido* [dissertação]. Campina Grande, PB: Universidade Federal de Campina Grande, 2005.
- SHUVAL, H. Wastewater recycling and reuse as a water resource for mediterranean countries hygienic and technological aspects. In: CONFÉRECE MÉDITERRANÉENNE SUR L'EAU, 2, Roma, 1992. *II Conférece Méditerranéenne sur l'Eau*, Roma, 1992. Disponível em: <[http://www.oieau.fr/rome/france/expert/theme\\_3/shuval.htm](http://www.oieau.fr/rome/france/expert/theme_3/shuval.htm)>. Acesso em: 15 de maio de 2013.
- SILVA, A. C. *Tratamento de percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado* [dissertação]. [Rio de Janeiro]: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.
- SILVA, M. B. R et al. Produção do pinhão-manso, primeiro ano, irrigado com água residuária. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 2009, Brasília.
- SOFIATTI, V. et al. Cinza de madeira e lodo de esgoto como fonte de nutrientes para o crescimento do algodoeiro. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 7, n. 1, p. 144-152, 2007.
- SOUZA, V. F. de. Frequência de aplicação de N e K via irrigação por gotejamento no meloeiro (*Cucumis melo* L.), cv. Eldorado 300 em solo de textura arenosa [dissertação]. Botucatu: FCA/UNESP, 1993.
- SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70 aniversário do biodiesel em 2007: Evolução histórica e situação atual no Brasil. *Revista Química Nova*, v. 30, p. 2068-2071, 2007.
- TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; MIRANDA, M. A. C. Effect of liming on soybean protein and oil yield. *Better Crops Intern.*, v. 7, n. 2, p. 9, 1991.
- TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany*, v. 91, p. 503-527, 2003.
- TOMINAGA, N. et al. *Cultivo do pinhão-manso para produção de biodiesel*. Viçosa, MG: Centro de Produções Técnicas, 2007.

VIANNA, M. S. *Pesticidas em solos agrícolas de Nova Friburgo, RJ: Aplicação da metodologia enzimática de inibição da AchE e estudos da influência dos parâmetros de fertilidade do solo* [dissertação]. Rio de Janeiro: Departamento de Química. Pontifícia Universidade Católica, 2008.

VICENTE, G.; MARTÍNEZ, M.; ARACIL, J. Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysis systems. *Bioresour. Technol.*, v. 92, n. 297, 2004.

WANG, W. G. et al. Emissions from nine heavy trucks fueled by diesel and biodiesel blend without engine modification. *Environmental Science Technologic*, v. 34, n. 6, p. 933-939, 2000.