



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Daniel Medina Corrêa Santos

Estoque de carbono na biomassa subterrânea de florestas de mangue

Rio de Janeiro

2015

Daniel Medina Corrêa Santos

Estoque de carbono na biomassa subterrânea de florestas de mangue



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.

Orientador: Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares

Rio de Janeiro

2015

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

S237

Santos, Daniel Medina Corrêa.

Estoque de carbono na biomassa subterrânea de florestas de mangue / Daniel Medina Corrêa Santos. – 2015.

132f.: il.

Orientador: Mário Luiz Gomes Soares.

Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Inclui bibliografia.

1. Manguezais - Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ) - Teses. 2. Carbono - Teses. 3. Biomassa - Teses. I. Soares, Mário Luiz Gomes. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 551.435.33(815.3)

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

Assinatura

Data

Daniel Medina Corrêa Santos

Estoque de carbono na biomassa subterrânea de florestas de mangue

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.

Aprovada em 28 de setembro de 2015.

Orientador:

Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares
Faculdade de Oceanografia – UERJ

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Frederico Duarte da Rocha
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes – UERJ

Prof. Dr. Gustavo Calderuccio Duque Estrada
Faculdade de Oceanografia – UERJ

Prof.^a Dra. Dorothy Sue Dunn Araújo
Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Henrique Machado Dias
Universidade Federal do Espírito Santo

Rio de Janeiro

2015

DEDICATÓRIA

A Deus por ter me dado todas as oportunidades e caminhos a escolher.

À minha família pelo carinho e incentivo.

À todos que se dedicaram para esta realização.

A todos que acharam que era possível e valia a pena.

E àqueles que não acreditaram, desafiaram e duvidaram por me fazer tentar e mostrar que foi possível.

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que me incentivaram e contribuíram de alguma forma para que esta tese pudesse ser concluída.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente / UERJ.

Ao meu orientador Mário Luiz Gomes Soares, por ter confiado em mim, me aceitado como aluno, mesmo sabendo da minha completa falta de experiência em pesquisa de manguezais. Por ter me ensinado muito, pela paciência e confiança e ter me aceitado no Núcleo de Estudos em Manguezais (NEMA).

À “galera” do NEMA, Gustavo, Vivi, Rita, Marciel, Daniela, Beatriz, Paula, Filipe, Mayne, Carolina, Brunna, Ana Carolina e a postiga Michelle e outros que também passaram por lá. Aos estagiários, que além de terem sido a grande parte da mão de obra executora dos campos realizados para esta tese, também foram grandes amigos durante essa jornada. Em especial à Dani, Rita, Marciel, Brunna, Mayne, Carol e Ana Carolina pelo carinho, dedicação, participação, companheirismo, preocupação e uma série de outros sentimentos que tornaram a execução desta tese bem mais agradável e fácil. Também tiveram que me aturar durante períodos tensos todos os dias e “seguraram a onda” várias vezes me facilitando a vida e o doutorado. Foram praticamente para todos os campos comigo, lavaram raízes, carregaram muito peso, em fim participaram de toda logística da tese. Além é claro dos momentos de descontração fora do laboratório e no campo, não tem como ficar triste ou preocupado quando estamos todos juntos. A Ana Carolina que aceitou o desafio de ser orientada por mim na graduação com este tema e depois continuou a me ajudar durante a tese, em praticamente todas as etapas. Ao Gustavo, além de fazer parte da equipe citada acima, me ajudou muito com um monte de coisa da tese, foram regressões, testes estatísticos, campo, desenho amostral e troca de conhecimento sobre os mais diversos assuntos.

A Embrapa Agroindústria de Alimentos pelo apoio logístico, que permitiu a entrada da equipe e cedeu suas instalações para utilizarmos durante as coletas de campo.

Aos amigos da época do mestrado e do Laboratório de Biologia Reprodutiva e Taxonomia de Plantas. Em especial as professoras Tânia Wendt e Rosana C. Lopes que me incentivaram a fazer o doutorado, incluindo a confecção das cartas de recomendação, aos amigos que agora distante, mas sempre lembro com consideração e carinho.

Ao grande amigo e professor Alexandre Loureiro, que me fez gostar tanto de Botânica, além de sua valiosa amizade ao longo destes anos, e seu companheirismo, e que até hoje me incentiva e me encoraja a tentar novos objetivos. Que também me ensinou os princípios para ser um bom profissional.

Aos meus grandes amigos, e agora compadres, Ricardo Francisco de F. Filho e Henrique M. Dias, companheiros de muitas aventuras, discussões, viagens e conversas sobre a vida. Sem contar os acréscimos no conhecimento da Zoologia e da Ecologia respectivamente.

Agradeço também pelos inestimáveis momentos de felicidade ao longo da minha jornada científica proporcionados por estes dois camaradas. Agradeço até por me concederem a oportunidade de apadrinhar sua prole primogênita e permitir que eu faça parte de suas famílias. Obrigado meus amigos de senzala!

Aos amigos de graduação que, mesmo depois de terminado a faculdade, continuaram a me incentivar ao longo da minha carreira, mestrado e agora no doutorado e me fazer companhia. Em especial: Eduardo, Ana Paula Rodrigues, Rachel, Thalita, José e Anderson (Feliz), Diego.

Aos alunos e amigos das Faculdades São José que souberam compreender as aflições e me ajudaram ou ofereceram preciosa ajuda nos momentos certos. Em especial a Fernanda e Gisele que me ajudaram a organizar minhas coisas e a lidar com os alunos no final do doutorado quando estava já sem muita paciência. Ao Luan, que me ajudou bastante em campo e me incentivou o tempo todo, pela preocupação e carinho. Aos demais que me ajudaram de alguma forma, seja em campo ou com as tarefas da faculdade. Aos meus orientandos pela paciência e confiança, Ana Carolina, Karolyne, Valquíria, Alexandre, e outros. À Fabiana, mas que uma aluna, uma grande amiga, uma excelente companheira, uma parceira especial, uma pessoa incrível que sem a sua participação na minha vida esta tese teria sido realizada com muito mais dificuldade e menos felicidade.

À minha família, minha mãe Raquel, minha “dindá” Cristina, meu pai Osório, meu irmão Gabriel, por compartilhar de meu desespero, tensão, agonia, mas que mesmo assim tentaram me manter sempre bem e disposto a lutar por aquilo que quero e não desistir, são todos grandes companheiros e uma “grande” família. Obrigado mamãe por ter se dedicado a nos tornar (eu e Gabriel) em quem somos hoje, obrigado “dindá” por ter ensinado todo seu conhecimento sobre tudo e por ter cobrado sempre, obrigado papai pela preocupação, obrigado meu irmão por ter me perturbado e deixar eu te perturbar, foi uma boa forma de desestressar. A Tia Therezinha (*in memoriam*) que sempre incentivou bastante seus sobrinhos-neto e tenho certeza continua fazendo.

Aos amigos, colegas, companheiros e todos aqueles que em algum momento passaram pela minha vida e deixaram alguma coisa boa que me incentivou a realizar este trabalho.

Agradeço também a toda a equipe que me ajudou em campo:

Foi muito complicado, difícil e cansativo, mas valeu a pena!!!

Não importa os seus feitos. De nada eles valem se eles foram motivados pela vaidade e não pelo amor.

A todos, muito obrigado!!!

Roots, bloody roots
Roots, bloody roots
Roots, bloody roots
Roots, bloody roots

I believe in our fate
We don't need to fake
It's all we wanna be
Watch me freak

I say we're growing every day
Getting stronger in every way
I'll take you to a place
Where we shall find our

Roots, bloody roots
Roots, bloody roots
Roots, bloody roots
Roots, bloody roots

Rain
Bring me the strength
To get to another day
And all I want to see
Set us free

Why
Can't you see?
Can't you feel?
This is real
Aaah

I Pray
We don't need to change
Our ways to be saved
That all we wanna be
Watch us freak

Andreas Kisser, Igor Cavalera, Max Cavalera, Paulo Jr.

RESUMO

SANTOS, Daniel Medina Corrêa. **Estoque de carbono na biomassa subterrânea de florestas de mangue**. 2015. 132f.: il. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

A biomassa de raízes subterrâneas em florestas de mangue tem sido objetivo de diversos estudos recentemente, assim como de outros sistemas florestais. Este aumento no número de estudos está relacionado ao reconhecimento da capacidade que esse compartimento da floresta tem de estocar carbono. No entanto ainda é nítido a baixa representatividade dos estudos desse compartimento da biomassa de florestas de mangue, quando comparados aos estudos da parte aérea. Porém as raízes subterrâneas podem compreender mais da metade da biomassa do sistema florestal. A biomassa de raízes subterrâneas de manguezais ao longo do globo terrestre varia entre $4,7 \text{ t.ha}^{-1}$ e $937,1 \text{ t.ha}^{-1}$, com uma média de $172,4 \text{ t.ha}^{-1}$. Enquanto que o estoque de carbono variou entre $1,9 \text{ tC.ha}^{-1}$ e $434,8 \text{ tC.ha}^{-1}$, com uma média de $75,6 \text{ tC.ha}^{-1}$. Para a Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ – Brasil), local onde foi realizada esta tese, a média encontrada do estoque de carbono de $120,1 \text{ tC.ha}^{-1}$ e a biomassa de $267,9 \text{ t.ha}^{-1}$, encontram-se dentro da faixa de variação global e latitudinal (entre 10° e 25°). No entanto o maior valor de biomassa subterrânea e respectivo estoque de carbono encontrado neste estudo ($348,94 \text{ t.ha}^{-1}$ e $239,63 \text{ tC.ha}^{-1}$) são superiores aos maiores valores encontrado para a referida faixa latitudinal. Assim como na maioria dos trabalhos, levantados na primeira parte da tese, de revisão bibliográfica, a maior parte da biomassa encontra-se nas primeiras camadas da superfície, chegando em média a 50% nos primeiros 0,4 m de profundidade. Bem como a contribuição da raízes mais finas (com diâmetro menor que 5 mm) contribuem em média com a maior parte (cerca de 80%) da biomassa subterrânea e respectivo estoque de carbono, também acompanhando o resultado de outros estudos. O método usado para obter estas estimativas foi a de escavação de uma trincheira de 1 m^3 (1 m de largura X 1 m de comprimento X 1 m de profundidade), sendo escavadas 10 trincheiras, 5 na zona de franja e 5 na zona de bacia, permitindo comparar os dois tipos fisiográficos e verificar que não existe diferença estatística significativa entre as mesmas com relação às diferentes classes de diâmetro de raízes. A única diferença estatística significativa entre os tipos fisiográficos foi para o estoque de carbono no primeiro estrato. O método utilizado neste estudo proporciona a coleta de todas as classes e tipos de raízes, fornecendo um panorama geral da biomassa subterrânea, no entanto em função de sua pouca praticidade, foi testada a viabilidade da amostragem para estimativa de biomassa subterrânea através de testemunhos. Este método, como verificado na revisão bibliográfica sobre o assunto, é o mais utilizado para se obter os valores tanto de biomassa subterrânea, quanto o estoque de carbono associado a esta. Para o referido teste foram coletados 100 testemunhos, 10 testemunhos ao redor de cada trincheira. Cada testemunho tinha uma profundidade de 1 m e um diâmetro de 7 cm. Quando comparadas as estimativas de estoque total de carbono obtidas pelo método de testemunho com as obtidas pelas trincheiras, não foi verificada nenhuma diferença estatisticamente significativa entre as metodologias, tanto para franja, quanto para a bacia. Portanto, tendo em vista a praticidade da amostragem de testemunhos e a confiabilidade de seus resultados, recomenda-se a utilização desse método de amostragem, que contribuirá para a expansão das estimativas do estoque de carbono na biomassa subterrânea de florestas de mangue.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Reserva Biológica Estadual de Guaratiba. Teste de métodos

ABSTRACT

SANTOS, Daniel Medina Corrêa. **Carbon stock on belowground biomass in mangrove forest.** 2015. 132f.: il. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

The belowground roots biomass in mangrove forests have been focus recently various studies, as well as other forest systems. This increase in the number of studies is related to the recognition of the capacity that this forest compartment have stock carbon. However it is still clear the low representation of studies of this biomass compartment of mangrove forests when compared to studies on aboveground biomass. But the underground roots can comprise more than half of the biomass of the forest system. The belowground biomass mangrove roots throughout the globe varies between 4.7 t ha^{-1} and 937.1 t ha^{-1} with an average of 172.4 t ha^{-1} . While the carbon stock ranged between 1.9 tC.ha^{-1} and 434.8 tC.ha^{-1} , with an average of 75.6 tC.ha^{-1} . For Biological Reserve State of Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ - Brazil), where this thesis was carried out, the average carbon stock econtrada of 120.1 tC.ha^{-1} and biomass 267.9 t.ha^{-1} lying within the global and latitudinal variation range (10° and 25°). However the highest value of the belowground biomass and respective carbon stock in this study (348.94 tha^{-1} and $239.63 \text{ tC.ha}^{-1}$) are higher than the higher values found for variation latitudinal range. As in most studies showed in the first part of the thesis, literature review, most of the biomass is found in the first layers of the surface, reaching an average of 50% in the first 0.4 m deep. As well as the contribution of the fine roots (less than 5 mm diameter) on average contribute most (about 80%) of the respective ground biomass and carbon stock, also following the results of other studies. The method used to obtain these estimates was excavate a trench of 1 m^3 (1 m width x 1 m length x 1 m depth), being excavated 10 trenches 5 in fringe region and 5 in the basin area, allowing compare the two physiographic types and was verified that there is no statistically significant difference between them in relation to different diameter classes root . The only statistical significative difference between the physiographic types went to the carbon stock in the first layer. The method used in this study provides the collection of all classes and types of roots, giving all an overview of the belowground biomass, however due to their low practicality, was verified the feasibility of sampling to estimate belowground biomass through cores. This method, as seen in the literature review on the subject, is the most used to obtain the values of both belowground biomass and carbon stock associated with this. For such a test were collected 100 cores, 10 cores around each trench. Each core had a depth of 1 m and a diameter of 7 cm. When comparing the total carbon stock estimates obtained by the core method with those obtained by the trenches, no statistically significant difference was observed between the methodologies for both fringe, as for the basin. Therefore, considering the practicality of the cores sampling and the reliability of their results, it is recommended to use this sampling method, which will contribute to the expansion of carbon stock estimates the underground biomass of mangrove forests.

Keywords: Climate change. Reserva Biológica Estadual de Guaratiba. Teste de métodos.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	14
1	PANORAMA GLOBAL DA BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO SUBTERRÂNEOS EM FLORESTAS DE MANGUE ...	24
1.1	Introdução	25
1.1.1	<u>Biomassa em Florestas de Mangue</u>	28
1.1.2	<u>Objetivo</u>	32
1.2	Métodos	33
1.2.1	<u>Levantamento bibliográfico</u>	33
1.2.2	<u>Análise dos dados e estoque de carbono</u>	34
1.2.3	<u>Análise estatística</u>	34
1.3	Resultados e discussão	35
1.3.1	<u>Relação entre a biomassa subterrânea e a biomassa aérea em manguezais</u>	36
1.3.2	<u>A distribuição vertical e compartimentação da biomassa subterrânea</u>	42
1.3.3	<u>Estoque de carbono na biomassa subterrânea</u>	44
1.3.4	<u>Métodos para estimativa da biomassa subterrânea em florestas de mangue</u>	53
1.4	Considerações finais	62
2	ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA SUBTERRÂNEA DE MANGUEZAIS EM GUARATIBA, RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL	64
2.1	Introdução	65
2.1.1	<u>Objetivos</u>	67
2.2	Métodos	67
2.2.1	<u>Amostragem e tratamento das amostras</u>	67
2.2.2	<u>Caracterização estrutural</u>	71
2.2.3	<u>Determinação do estoque de carbono</u>	72
2.2.4	<u>Testes estatísticos</u>	73
2.3	Resultados e discussão	74
2.4	Considerações finais	87
	Anexo – Tabelas com os valores de estoque das trincheiras	88

3	AVALIAÇÃO METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA SUBTERRÂNEA EM FLORESTAS DE MANGUE	94
3.1	Introdução	95
3.1.1	<u>Objetivos</u>	98
3.2	Métodos	98
3.2.1	<u>Amostragem e tratamento das amostras</u>	98
3.2.2	<u>Estimativas do estoque de carbono na biomassa subterrânea</u>	100
3.2.3	<u>Testes estatísticos</u>	101
3.3	Resultados e discussão	101
3.4	Considerações finais	115
4	DISCUSSÃO GERAL	117
	CONCLUSÕES	121
	REFERÊNCIAS	124

INTRODUÇÃO GERAL

A presente tese teve como foco o estudo do estoque de carbono associado à biomassa de raízes subterrâneas nas florestas de mangue de Guaratiba.

Assim, após quatro anos de estudos, que incluíram aproximadamente 60 dias de trabalhos de campo, pouco mais de 10 metros cúbicos de sedimentos escavados, lavados e triados, ou seja, pouco mais de 10 toneladas de material, são apresentados aqui, através de três capítulos, resultados inéditos para o Brasil.

Antes de explicar como apresentaremos estes resultados, é importante descrevermos brevemente os motivos que nos levaram a desenvolver esse estudo. (Ah e sim! “Apresentaremos”, “descreveremos”, porque embora a tese em si seja o produto apresentado por um indivíduo ela representa o trabalho, envolvimento, dedicação e decisão de um grupo, sem o qual não existiria a menor possibilidade de execução deste estudo, embora eu ingenuamente afirmasse por diversas vezes que sim, era possível fazer sozinho. Esse sem dúvida é um dos aprendizados que levo do doutorado).

A biomassa subterrânea em alguns sistemas corresponde a menos de 25% da biomassa total do sistema (Tamai *et al*, 1986), porém em florestas de mangue esta proporção pode ultrapassar os 50% da biomassa total da floresta (Abohassan *et al*, 2012). No entanto, em função da grande dificuldade de amostragem, poucos são os estudos que se dedicam à análise desta componente do sistema florestal de mangue. Por se tratar de uma tese de doutorado, o que implica em um ineditismo para a pesquisa, cabe ressaltar que este é o primeiro estudo realizado na América do Sul, é o primeiro que se propõe a testar a acurácia da metodologia de testemunhos para estimar a biomassa deste compartimento, e também é apresentada a primeira revisão dedicada exclusivamente às estimativas de biomassa subterrânea.

As estimativas de estoque e sequestro de carbono de um sistema como um todo, que não incorporam nestas, o carbono associado a biomassa subterrânea, podem subestimar este valor, principalmente em sistemas onde esta biomassa subterrânea corresponde a mais da metade do total de toda biomassa.

Em uma revisão recente elaborada por Komiyama *et al* (2008) podemos verificar que poucos são os estudos desenvolvidos nas últimas 5 décadas e nenhum deles realizados na América do Sul.

A presente tese adota uma estrutura de capítulos relacionados e articulados, cada um com o formato de artigo científico.

Estrutura da Tese

No capítulo I é realizada a primeira revisão específica sobre biomassa subterrânea em florestas de mangue para o mundo. Nesta revisão são abordados diversos assuntos e temas, tais como as principais metodologias utilizadas para a amostragem e quantificação desta biomassa e o estoque de carbono na mesma, abordando tanto as metodologias diretas, como as indiretas, além de relacionar a biomassa subterrânea com a biomassa aérea e discutir o estoque de carbono neste compartimento da floresta. Com a atual tese, o levantamento bibliográfico foi praticamente exaurido, seguindo a metodologia descrita no capítulo. No entanto, nem todas elas foram inseridas em algumas tabelas ou análises em função da não apresentação dos valores separados para a biomassa subterrânea. Os modelos utilizados sejam eles dedutivos, ou criados através de regressões lineares ou alométricas, são analisados e comparados com as demais metodologias.

No capítulo II, é apresentada a estimativa da biomassa de raízes total das florestas de mangue e seu respectivo estoque de carbono, em duas zonas (franja e bacia) das florestas de mangue do rio Piracão na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba.

No capítulo III, são testados dois métodos para a estimativa da biomassa subterrânea, baseados em distintas formas de amostragem (baseadas em testemunhos e em trincheiras). Nesses testes são comparados, o estoque de carbono total, em diferentes categorias de raízes e ao longo do perfil vertical do substrato.

Na discussão geral as discussões abordadas nos capítulos anteriores são integradas, analisando como os resultados das mesmas podem convergir em ações concretas para a conservação de ambientes naturais utilizando como base os estudos sobre quantificação de estoque e sequestro de carbono. Estas discussões e resultados apresentados nesta tese podem ser utilizadas e aplicadas localmente para o fortalecimento da política de preservação ambiental e manutenção da unidade de conservação da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba para florestas de manguezal.

O tema

Florestas de mangue ocorrem em uma faixa pan-tropical sob condições edáficas específicas (Tomilson, 1986; Schaeffer-Novelli *et al.*, 1990) onde elementos ambientais terrestres e marinhos atuam em conjunto em um ambiente transicional, ocupando uma área de aproximadamente 137.760 km² (Giri *et al.*, 2011). As florestas de mangue são encontradas em ambientes costeiros, em áreas alagadas pelas marés, na transição para terra firme, cujos organismos encontram-se adaptados a diversas condições ambientais de variação de salinidade, baixa oxigenação do solo e sedimento lamoso. Diversos fatores podem influenciar a estrutura da floresta e da diversidade florística nas florestas de mangue (Lugo e Snedaker, 1974; Schaeffer-Novelli *et al.*, 2000). Estas diferenças foram utilizadas para distinguir fitofisionomias para as florestas de mangue (Lugo e Snedaker, 1974; Schaeffer-Novelli *et al.*, 2000; Estrada *et al.*, 2013).

Os manguezais ocorrem ao longo de quase toda a extensão da costa brasileira, desde o ponto mais ao norte (04° 20' N) na foz do rio Oiapoque no Amapá, até o estado de Santa Catarina no município de Laguna (28° 30' S) (Schaeffer-Novelli *et al.*, 1990) ocupando uma extensão de 6.786 km (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2000), e uma área estimada aproximada entre 962.683 ha (Giri *et al.*, 2011), 1.071.083,74 ha (Magris e Barreto, 2010) e 1.300.000 ha (Spalding *et al.*, 2010). Segundo estimativas recentes (Spalding *et al.*, 2010) o Brasil possui uma das maiores áreas contínuas de manguezais do mundo, com 651.600 ha e é o segundo país em área total ocupada pelos manguezais.

Ao longo da costa brasileira os manguezais possuem características específicas que os diferenciam quanto aos padrões de estrutura vegetal e suas especificidades regionais na distribuição das espécies (Schaeffer-Novelli *et al.*, 1990). Para auxiliar a interpretação das florestas de mangue brasileiras, Schaeffer-Novelli *et al.* (1990) dividiram o litoral do país em oito segmentos, unidades fisiográficas, levando-se em consideração relevo, tipo de solo, cobertura vegetal, temperatura média anual, evapotranspiração potencial e amplitude de marés. De acordo com essa divisão, cada unidade apresentaria um desenvolvimento estrutural similar, por estar submetida às mesmas condições ambientais regionais.

As florestas possuem uma função que tem sido cada vez mais estudada, que é a de estocar e sequestrar carbono atmosférico. Estas têm importante papel no ciclo do carbono e na sua regulação, e, em função da grande biomassa vegetal, são potencialmente grandes sequestradoras

e estocadoras de carbono (Brown *et al.*, 1992; Vieira *et al.*, 2008; Guo *et al.*, 2010, Donato *et al.*, 2011). Além desta, as florestas de mangue possuem outras diversas funções, como proteção da linha de costa e exportação de matéria orgânica para sistemas costeiros adjacentes (Soares, 1997).

A quantificação da biomassa de uma floresta tem várias finalidades (Silveira *et al.*, 2008), entre elas, o cálculo do carbono estocado na mesma. Num cenário de mudanças ambientais globais que vem se configurando nas últimas décadas em função do aumento da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEEs), a quantificação do estoque de carbono e da taxa de seqüestro podem ajudar o país a contabilizar suas emissões, seus sumidouros e seus créditos de carbono. O reservatório de carbono associado aos ecossistemas é composto pela biomassa aérea, subterrânea, madeira “morta”, matéria orgânica em decomposição e carbono orgânico do solo (Peterson e Melin, 2010).

Os países signatários do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas e do Protocolo de Kyoto, do qual o Brasil faz parte, devem reportar à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) as mudanças na composição de seus “reservatórios” de estoque de carbono de seus ecossistemas, ou seja, deve contabilizar e reportar os valores de seqüestro/liberação de carbono nos mesmos. Então, assim como a manutenção dessas florestas contribui para a manutenção destes “reservatórios” a perda das mesmas significa a perda de parcelas significativas destes reservatórios (Harris *et al.*, 2012; Zarin *et al.*, 2012).

As raízes, mencionadas anteriormente como parte importante da biomassa vegetal de uma floresta, e que são estruturas presentes nos “vegetais superiores” possuem diversas funções como sustentação e fixação, absorção, armazenamento e condução de nutrientes (Raven, Evert e Eichhorn, 1996). Com diferentes origens, estruturas anatômicas, formas e funções estas são um compartimento da floresta em geral pouco estudado, pois a maior parte se encontra na parte subterrânea e a dificuldade de acesso limita os estudos e observações deste compartimento em tempo real ao contrário da parte aérea da planta. No entanto, quando se trata de biomassa, a contribuição das raízes pode corresponder a cerca de 50% da biomassa total (Reich, 2002). Em função tanto de sua importância como também de sua biomassa, Waisel, Eshel e KafKafi (2002) publicaram o livro “Plant Roots: The Hidden Half” (Raízes das Plantas: A metade escondida) fazendo uma alusão à proporção que as raízes tem em relação às partes aéreas dos vegetais e das florestas.

Assim como nas demais florestas, as raízes em manguezais também possuem uma grande contribuição para a biomassa no sistema (Komiyama *et al.*, 1987). Alguns (e.g. Donato *et al.*, 2011) trabalhos mostram como a contribuição da biomassa subterrânea, em manguezais, fazem diferença para o estoque de carbono neste sistema. De acordo com o apresentado por Donato *et al.* (2011) embora o estoque aéreo das florestas de mangue se assemelhem a outros sistemas, como florestas tropicais de terra firme, florestas temperadas e boreais, a parte subterrânea é maior do que a destes sistemas. Estes autores mostram que a relação entre o estoque de carbono na biomassa subterrânea e na aérea é maior nas florestas de mangue do que nos outros sistemas, dado por isso a importância para este compartimento nos manguezais.

De acordo com uma revisão elaborada por Komiyama *et al.* (2008), os estudos da biomassa subterrânea são bem menos numerosos do que aqueles que se dedicam a biomassa aérea. Isto pode ser resultado do difícil acesso e estudo deste componente (Komiyama *et al.*, 1987). Recentemente vem crescendo o número de trabalhos que se dedicam a esta parte da biomassa, e estes trabalhos mais recentes utilizam metodologias de testemunho para realizar a coleta da biomassa (e.g. Donato *et al.*, 2011; 2012; Kauffman *et al.*, 2011; Abohassan *et al.*, 2012). No entanto não se sabe se estas metodologias possuem uma boa acurácia em relação a metodologia de trincheira. Esta diferença se dá principalmente a limitações dos testemunhos em não coletar as raízes mais grossas.

Objetivos

Esta tese tem como objetivo analisar diferentes aspectos relacionados às estimativas de estoque de carbono na biomassa subterrânea em florestas de mangue.

Objetivos específicos

Assim, com a tese dividida em uma parte que consta de uma Introdução Geral, Objetivo Geral e Área de Estudo Geral, mais 3 capítulos e mais a Discussão Geral e Conclusões, podemos também dizer que temos três objetivos específicos a serem respondidos nos seus respectivos capítulos, sendo eles:

Apresentar uma revisão bibliográfica dos dados disponíveis na literatura a cerca do estoque de carbono na biomassa subterrânea de manguezais;

Estimar o estoque de carbono na biomassa de raízes subterrâneas nas florestas de mangue de Guaratiba em diferentes fitofisionomias;

Avaliar diferentes métodos para estimativa da biomassa subterrânea em florestas de mangue.

Área de estudo

A zona oeste do Rio de Janeiro, região delimitada administrativamente no âmbito do município do Rio de Janeiro, compreende 39 bairros. Esta região possui uma área aproximada de 885,74 Km² e uma população de aproximadamente 2,6 milhões de habitantes e a maior área de cobertura vegetal do município (IPP, 2014).

Considerada por muitos durante muito tempo como o sertão carioca, em função da sua distância do centro da cidade e por seus atributos “selvagens”, como descreveu Magalhães Corrêa em sua obra “Os Sertões Carioca” (Oliveira, 2010), sobre a baixada de Jacarepaguá, parte do maciço da Pedra Branca e da região de Guaratiba. Podemos destacar 3 fatores que levaram a esta fama: i) esta região possui a maior cobertura vegetal da cidade atualmente (IPP, 2014); ii) a presença da maior floresta ombrófila urbana do mundo, a Floresta da Pedra Branca, onde localiza-se o Parque Estadual da Pedra branca (<http://redeglobo.globo.com/globoecologia/noticia/2011/06/maior-floresta-urbana-do-mundo-fica-na-zona-oeste-do-rio-de-janeiro.html>), iii) localiza-se a maior área de manguezal do município (IPP, 2014), onde está inserida a Reserva Biológica Estadual de Guaratiba.

Cerca de 84 % da cobertura vegetal de mata atlântica e ecossistemas associados do município está localizada nesta região, com uma cobertura total de quase 30 mil hectares (IPP, 2014).

Esta região do município, junto com a região da Ilha do Governador, da Maré e da Lagoa Rodrigo de Freitas são as únicas do município do Rio de Janeiro que apresentam florestas de mangue, porém é na Zona Oeste que está localizada a maior concentração dessas florestas com uma área total de aproximadamente 3.280 ha de manguezais (IPP, 2014). Fora desta região

apenas cerca de 112 ha de manguezais são encontrados dentro do município do Rio de Janeiro (IPP, 2014).

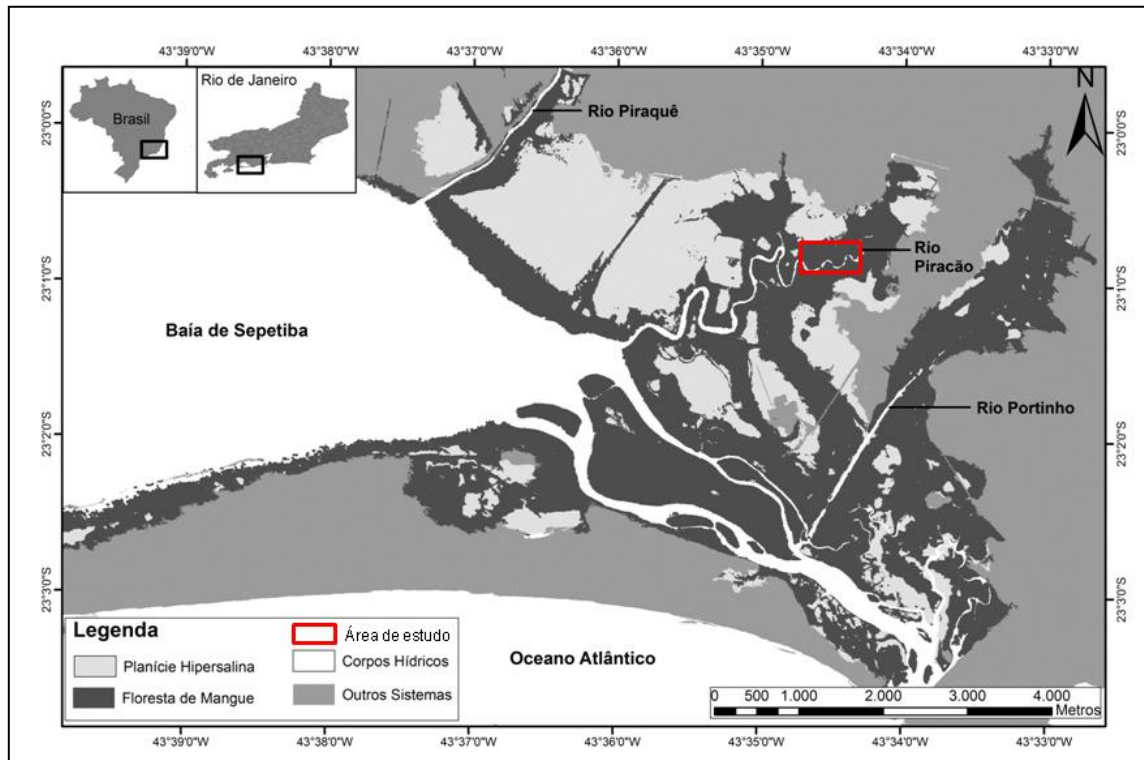
No município do Rio de Janeiro existem 7 unidades de conservação estaduais, das quais duas são de uso sustentável e as demais de proteção integral. Dentre essas unidades de conservação, o Parque Estadual da Pedra Branca, o Parque Estadual do Mendanha, a Reserva Biológica de Guaratiba, a Área de Proteção Ambiental do Gericinó-Mendanha e a Área de Proteção Ambiental Sepetiba estão localizadas na zona oeste (INEA, 2014). Das UC federais, as duas localizadas dentro dos limites do território municipal são unidades de proteção integral, o Parque Nacional da Tijuca e o Monumento Natural das Ilhas Cagarras, porém somente o Parque Nacional da Tijuca tem sua fronteira com os bairros da zona oeste.

Cerca de 35,77 % da área dos municípios da zona oeste está recoberta por unidades de conservação (IPP, 2014). Isto, juntamente com o exposto acima, demonstra a importância desta região para a preservação de remanescentes de sistemas naturais dentro do município do Rio de Janeiro e conseqüentemente a importância dos recursos e serviços prestados por estes sistemas para esta região.

Todos os bairros onde a Reserva Biológica Estadual de Guaratiba está inserida ou fazem limites com a mesma, pertencem a Região Administrativa de Guaratiba, são eles: Barra de Guaratiba, Pedra de Guaratiba e Guaratiba. Estes bairros possuem uma população total de aproximadamente 123.114 habitantes, sendo respectivamente 89,38 %, 7,71 % e 2,91 % a contribuição de cada bairro (IPP, 2014). A área total dessa região é de 15.258,01 ha, sendo a contribuição de Barra de Guaratiba, Guaratiba e Pedra de Guaratiba de respectivamente 91,4%, 6,2% e 2,4% da área total.

Nestes bairros a cobertura vegetal de mata atlântica e sistemas associadas (incluindo a cobertura por vegetação secundária) é de 7.584,19 ha, dos quais cerca de 30% correspondem a cobertura florestal de manguezais, que são encontrados em todos os três bairros, sendo que 99,2% desta cobertura está localizada no bairro de Barra de Guaratiba, 0,6% em Guaratiba e 0,2% em Pedra de Guaratiba. Estas florestas são encontradas nas margens da baía de Sepetiba e dos rios Piraquê, Piracão e Portinho (Figura 1). Grande parte destas florestas de mangue estão inseridas na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba.

Figura 1 - Localização das florestas de mangue nos bairros de Barra de Guaratiba, Guaratiba e Pedra de Guaratiba.



Fonte: ALMEIDA, P.M.M, 2015.

No município do Rio de Janeiro, a região de Guaratiba, abriga uma das áreas mais preservadas de manguezais, no interior de uma unidade de conservação, a Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (RBEG). A Reserva Biológica Estadual de Guaratiba, foi criada pelo Decreto Estadual nº 7.549 de 20 de novembro de 1974 com o nome original de Reserva Biológica e Arqueológica de Guaratiba. Esta Unidade de Conservação passou por diversas revisões e demarcações dos seus limites. Atualmente, depois da última atualização legal, realizada pelo Decreto Estadual nº 5.842 de 3 de dezembro de 2010, a unidade de conservação foi recategorizada, onde ganhou o nome atual e a categoria de Reserva Biológica, definida de acordo com àquelas preconizadas pela Lei Federal 9.985 de 18 de junho de 2000 (SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação). Após o último decreto, sua área total é de 3.360,18 ha, praticamente compostos por florestas de mangue e planícies hipersalinas, só restando uma pequena porção que corresponde aos espelhos d'água dos rios e da baía de Sepetiba.

Na região de Guaratiba, onde localiza-se a referida reserva, a precipitação anual média é de $1095,5 \pm 255,7$ mm, onde a maior média de precipitação acumulada mensal é de $144,0 \pm 106,3$ no mês de março e a menor de $39,5 \pm 26,0$ no mês de agosto (Estevam, 2013), sendo os

meses de janeiro a março aqueles com maior precipitação acumulada (Souza, 2015). A temperatura média anual varia aproximadamente entre 22° C e 24° C (Souza, 2015) e a média anual é de 23,5°C (Estrada *et al.*, 2008).

O Núcleo de Estudos em Manguezais (NEMA/UERJ) tem utilizado, ao longo dos últimos 20 anos, os manguezais da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba, como modelo para várias linhas de pesquisa em biologia da conservação e monitoramento de impactos ambientais locais, regionais e globais. Nesta área, o NEMA tem desenvolvido o acompanhamento anual da dinâmica florestal e utilizado modelos alométricos que permitem estimar a biomassa aérea da floresta de mangue (Soares, 1997, Soares e Schaeffer-Novelli, 2005, Estrada *et al.*, 2014), através dos quais foi calculado o estoque de carbono na parte aérea da floresta.

Os manguezais de Guaratiba (Barra, Pedra e “Ilha”) ocupam uma área de aproximadamente 2.815 ha, dos quais 1.881 ha são de florestas de mangue (Almeida *et al.*, 2014). Neste sistema, as partes mais internas das zonas entre-marés são atingidas apenas pelas marés de sizígia, dando origem a planícies hipersalinas (Estrada *et al.*, 2013), que também são conhecidas como “apicum”. Estas planícies hipersalinas, ocupam uma área de 934 ha (Almeida *et al.*, 2014). Nestas florestas ocorrem três espécies de mangue: *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, *Laguncularia racemosa* (L) C. F. Gaertn. e *Rizophora mangle* L. (Estrada *et al.*, 2013)

Estas florestas de mangue apresentam diferentes fitofisionomias que possuem sua distribuição regida principalmente pelo gradiente de inundação pelas marés (Estrada *et al.*, 2013). Assim Estrada *et al.* (2013) descreveram para as florestas de mangue de Guaratiba três tipos de fitofisionomias distintas que variam ao longo de um gradiente de inundação da floresta: franja, bacia e transição para planícies hipersalinas. Este gradiente de inundação também promove alterações nas variações da salinidade da água intersticial, onde a salinidade média na franja é de $25,3 \pm 2,8$, tendendo a aumentar em direção à transição para as planícies hipersalinas que apresentam salinidade média de $39,5 \pm 6,7$. Já as planícies hipersalinas apresentam as maiores salinidades $101,5 \pm 7,7$ (Estrada *et al.*, 2013).

As florestas de franja ocupam uma área de 304 ha, correspondendo a fitofisionomia com menor área nesta região (Almeida *et al.*, 2014). As florestas de bacia são aquelas que ocupam a maior área, com 1.060 ha e por fim as florestas de transição para as planícies hipersalinas ocupam uma área de 517 ha (Almeida *et al.*, 2014). Estas florestas possuem um gradiente de redução da altura média no sentido franja – bacia – transição para planície hipersalina sendo

aproximadamente 7 m, 5m e 2m as respectivas medianas das alturas médias (Estrada *et al.*, 2013). Este padrão de redução dos parâmetros fitossociológicos também é encontrado para área basal e DAP médio, enquanto que para a densidade e a ramificação o padrão é inverso, onde na franja a densidade e a ramificação dos indivíduos são menores e na transição para as planícies hipersalinas são maiores (Estrada *et al.*, 2013).

Tabela 1 - Média dos parâmetros estruturais e da salinidade intersticial (\pm desvio padrão) das diferentes fitofisionomias dos manguezais de Guaratiba.

Fitofisionomia	Densidade (troncos.ha ⁻¹)	DAP Médio (cm)	Altura média (m)	Salinidade média
Franja	5895 \pm 9399	10,1 + 3,8	7,4 + 2,3	35,3 \pm 7,3
Bacia	10260 \pm 8554	5,8 + 2,0	5,0 \pm 1,8	40,9 \pm 7,5
Transição	19001 + 14426	3,0 + 1,6	2,0 \pm 1,2	42,2 \pm 10,1

Fonte: Dados de Estrada *et al.*, 2013.

As florestas de franja possuem uma mediana da contribuição em área basal de 65,2 % de *Avicennia schaueriana*, 1,4 % de *Laguncularia racemosa* e 24 % de *Rhizophora mangle* (Estrada *et al.*, 2013). As florestas de bacia apresentam contribuição média em área basal de 55 % de *Avicennia schaueriana*, 0,2 % de *Laguncularia racemosa* e 31,4 % de *Rhizophora mangle* (Estrada *et al.*, 2013). As florestas de transição para as planícies hipersalinas possuem contribuição média em área basal de 32,7 % de *Avicennia schaueriana*, 0,0 % de *Laguncularia racemosa* e 46,5 % de *Rhizophora mangle* (Estrada *et al.*, 2013).

1 PANORAMA GLOBAL DA BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO SUBTERRÂNEOS EM FLORESTAS DE MANGUE

Resumo

Os sistemas florestais possuem diversas funções biológicas, no entanto recentemente tem recebido crescente destaque aquelas atribuídas a reservatórios e sequestradoras de carbono atmosférico em sua biomassa. Num cenário de mudanças ambientais globais, que vem se configurando nas últimas três décadas, em função do aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEEs), o balanço entre as emissões destes gases e a manutenção de seus estoques, as quantificações dos estoques de carbono, suas mudanças e as taxas de sequestro de carbono passam a ganhar um papel de destaque para a sociedade. Nesse contexto surgem as demandas governamentais de se fazer um inventário dos seus estoques, incluindo aqueles associados à biomassa de sistemas naturais. As florestas de mangue apresentam uma alta biomassa subterrânea e uma enorme quantidade de matéria orgânica é acumulada em seu substrato. Em contraste com florestas terrestres, a biomassa de raízes de manguezais pode contribuir com metade ou mais da biomassa total. Assim, faz-se necessária a inserção deste componente neste inventário, bem como uma discussão sobre os métodos de amostragem e as divergências entre estes, os modelos utilizados e os erros associados. Para tanto, o presente capítulo teve como objetivo a análise do estado da arte da estimativa da biomassa de raízes subterrâneas em florestas de mangue, com aproximadamente 40 publicações sobre o assunto foram agrupadas em uma extensa revisão sobre o assunto. São abordadas as diferentes metodologias e desenhos amostrais utilizados para a contabilização deste componente bem como os principais modelos alométricos disponíveis. É apresentada também uma relação entre a biomassa subterrânea e a biomassa aérea e o estoque de carbono nos locais onde possuem estudos quantificando esses dois compartimentos. As estimativas de biomassa subterrânea em manguezais variaram entre 4,09 e 1065,69 t.ha⁻¹. A maior contribuição de raízes finas foi de 64,4% e a menor contribuição foi de 8%. A relação entre biomassa aérea e biomassa subterrânea (S/A) variou entre 0,02 e 5,11 com uma média de 0,94, os estoques de carbono variaram entre 1,92 tC.ha⁻¹ e 434,8 tC.ha⁻¹ e com uma média de 75,34 tC.ha⁻¹. Embora existam diversas metodologias para estimar a biomassa subterrânea cada uma delas tem vantagens e desvantagens e a utilização depende do objetivo

específico de cada estudo, além da disponibilidade de recursos, tempo e logística para a realização do mesmo.

Palavras-chave: estoque de carbono; manguezais; biomassa subterrânea; biomassa aérea

1.1 Introdução

Florestas de mangue ocorrem em uma faixa pan-tropical sob condições edáficas específicas (Tomilson, 1986; Schaeffer-Novelli *et al*, 1990) onde elementos ambientais terrestres e marinhos atuam em conjunto em um ambiente transicional. As florestas de mangue são encontradas em ambientes costeiros, em áreas alagadas pela água salgada, na transição para terra firme, cujos organismos encontram-se adaptados a diversas condições ambientais de alta salinidade, baixa oxigenação e substrato inconsolidado. Ocorrendo ao longo das costas da maioria dos oceanos (Donato *et al*, 2011), os manguezais estão presentes em cerca de 120 países e abrangem uma área total cujas estimativas variam entre 13.776.000 ha. (Giri *et al*, 2011) e 15.200.000 ha (Spalding *et al.*, 2010). Deste total, cerca de 75% ocorrem em apenas 15 países, sendo a maior parte das florestas de mangue encontrada na Ásia com 42% seguido pela África com 20% e apenas 11% encontram-se na América do Sul. Embora a distribuição das florestas de mangue ocorra em uma faixa tropical e sub-tropical, as áreas mais extensas estão concentradas entre as latitudes 5° N e S. (Giri *et al*, 2011).

Considerando aspectos abióticos e bióticos, em escalas mais locais, Lugo e Snedaker (1974) classificaram os manguezais em seis tipos fisiográficos de florestas de mangue: ribeirinho, franja, bacia, ilhote, arbustivo e anão. No entanto, Schaeffer-Novelli *et al.* (2000), modificaram essa classificação, considerando três tipos principais: franja, bacia e anão (ou arbustivo). Os tipos fisiográficos ilhote, ribeirinho, foram considerados subtipos dos principais. A floresta do tipo franja desenvolve-se ao longo das margens dos rios e oceanos, com uma proximidade maior dos corpos hídricos, com uma topografia mais baixa está exposta a uma frequência maior de inundação pelas marés e em geral apresenta elevado desenvolvimento estrutural que é condicionado pelas marés, salinidade, maior disponibilidade de nutrientes, remoção de metabólitos e oxigenação do substrato. Os tipos ribeirinho e ilhote são consideradas, por Schaeffer-Novelli *et al.* (2000), sub-tipos do tipo franja. A floresta do tipo bacia desenvolve-se nas áreas interiores, atrás da floresta do tipo franja, onde a renovação de água ocorre

lentamente, pois a frequência de inundação é menor. Ainda segundo estes autores, os mangues arbustivos são aqueles que, em função de condições físico-químicas e climáticas desfavoráveis, possuem um baixo desenvolvimento estrutural, como baixa estatura e menor diâmetro a altura do peito (DAP), além de apresentar indivíduos ramificados. Estas florestas podem ser encontradas em áreas de transição para planícies hipersalinas, onde a salinidade elevada seria um dos fatores ambientais que pode causar esta redução do desenvolvimento estrutural ou ainda em áreas com baixa disponibilidade de nutrientes. Mais recentemente estes tipos fisiográficos e sua classificação foram estudados por Estrada *et al* (2013), que encontraram uma diferença significativa (estatisticamente) entre o desenvolvimento estrutural destes tipos fisiográficos, sendo que os autores denominaram o tipo fisiográfico arbustivo de “transição” em função do seu reduzido desenvolvimento estrutural por conta da sua localização na transição da floresta para as planícies hipersalinas.

Segundo Soares (1997) as florestas de mangue possuem diversas funções dentre as quais destacam-se como principais: fonte de detritos (matéria orgânica) para as águas costeiras adjacentes, constituindo a base de cadeias tróficas de espécies de importância econômica e/ou ecológica; área de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, dulcícolas e terrestres; pontos de pouso (alimentação e repouso) para diversas espécies de aves migratórias, ao longo de suas rotas de migração; manutenção da diversidade biológica da região costeira; proteção da linha de costa, evitando erosão da mesma e assoreamento dos corpos d'água adjacentes e fonte de alimento e produtos diversos, associados à subsistência de comunidades tradicionais que vivem em áreas vizinhas aos manguezais. Além destas, as florestas possuem uma função que tem sido cada vez mais estudada, que é a de estocar e sequestrar carbono atmosférico (Silveira *et al.*, 2008; Kauffman *et al.*, 2011; Donato *et al.*, 2011; 2012; Estrada, 2013)

Em função do acúmulo de carbono orgânico na biomassa florestal, cresce ainda mais o interesse no estudo da biomassa e do conteúdo de carbono presente neste compartimento (Silveira *et al.*, 2008). Assim sendo, a quantificação do carbono nos ecossistemas tropicais tem recebido mais atenção nas últimas décadas (e.g. Boscolo e Buongiorno, 1997; Kauffman, 1998; Fearnside *et al.*, 1999; Pelletier *et al.*, 2010; Harris *et al.*, 2012; Zarin, 2012, Aryal *et al.*, 2014; Lung e Espira, 2015), pois é de grande relevância o conhecimento de carbono fixado nos ecossistemas naturais, uma vez que as florestas contribuem para a estabilidade ambiental, por exemplo, com a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). As florestas constituem, em muitos casos, sumidouros de carbono, ou seja, as florestas absorvem CO₂ da

atmosfera e armazenam em forma de biomassa (Silveira *et al.*, 2008), bem como também armazenam no solo, onde por sua vez pode ser encontrado importante reservatório de carbono (Donato *et al.*, 2011). Assim, a conservação dos sistemas florestais pode contribuir para estratégias de mitigação e compensação de emissões de carbono e outros GEEs, bem como a perda destes ambientes significa a liberação do carbono estocado para a atmosfera e a não possibilidade de sequestro do mesmo (Harris *et al.*, 2012; Zarin, 2012).

O termo biomassa de acordo com Sanqueta (2002) divide-se em biomassa florestal que significa toda a biomassa existente na floresta, ou apenas na sua fração arbórea, e em fitomassa quando possui origem vegetal. Os manguezais são sumidouros importante de CO₂ ao longo da costa tropical (Bouillon *et al.*, 2008; Komiyama *et al.*, 2002) e estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo (Jennerjahn e Ittekkot, 2002). A compreensão contemporânea do fenômeno do aquecimento global tem gerado interesse na capacidade de estocagem de carbono em florestas de mangue (Komiyama *et al.*, 2000). A quantificação da biomassa tem diversas finalidades, no entanto a quantificação desta para conversão em estoques de carbono tem sido, recentemente, a mais estudada (Silveira *et al.*, 2008).

A primeira tentativa de lidar com a questão climática, em nível internacional, aconteceu em 1988, quando foi estabelecido o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*), com o objetivo de revisar e compilar informações científicas sobre o assunto e desde então representantes de 180 países passaram a se reunir anualmente para discutir o progresso da implementação de políticas e medidas que visam a reduzir, mitigar ou compensar essas mudanças e dar continuidade às discussões nas chamadas Conferências das Partes (COPs). Entre as conferências já realizadas, destaca-se a COP 3, realizada em 1997, no Japão, na qual os governos responderam efetivamente à crescente pressão pública, elaborando o Protocolo de Quioto. O Protocolo de Quioto tem como principal objetivo a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e estabelece como principal mecanismo a comercialização de créditos a partir da redução das emissões desses gases, dentre os mecanismos propostos, destaca-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que concede créditos pelo financiamento de projetos que reduzam ou evitem emissões nos países em desenvolvimento (CEBDS, 2002).

A quantificação da biomassa é fundamental para a compreensão da função dos sistemas florestais no processo de mitigação do aquecimento global. Porém, estimativas mais precisas de biomassa são necessárias para avaliar os padrões de alocação de carbono nas regiões costeiras tropicais e subtropicais (Khan *et al.*, 2007). Estudos mostram que a capacidade de fixação de

carbono no manguezal é maior do que em florestas terrestres (Christensen, 1978; Clough, 1998; Ong *et al.*, 1995; Kauffman *et al.*, 2011; Donato *et al.*, 2011; 2012). Os valores elevados encontrados de carbono neste ecossistema, fazem o manguezal importante para mitigação de mudanças climáticas e conseqüentemente a sua conservação se faz necessária (Murdiyarso *et al.*, 2009).

As florestas de mangue apresentam uma alta biomassa subterrânea e uma grande quantidade de matéria orgânica é acumulada em seu substrato (Saintilan, 1997; Komiyama *et al.*, 2000; Khan *et al.*, 2007). O substrato inconsolidado, em função do encharcamento pela maré, que aumenta a quantidade de água subterrânea nos solos dos manguezais, faz com que a produção primária e a alocação de biomassa em raízes subterrâneas sejam diferentes de outras formações florestais que não possuem tais características (Khan *et al.*, 2009). Uma grande parte da matéria orgânica sedimentar em manguezais é derivada das raízes (Alongi *et al.*, 2001).

Uma grande quantidade de matéria orgânica pode ser acumulada nestes solos devido à decomposição lenta sob o solo alagado e suas condições anaeróbicas (Komiyama *et al.*, 2000). Portanto, uma parcela importante na proporção de carbono orgânico em florestas de mangue está armazenado nas raízes subterrâneas (Komiyama *et al.*, 1987). Isso mostra que as florestas de mangue, em função da grande biomassa subterrânea, podem desempenhar um papel significativo como armazenamento de carbono, não só na biomassa aérea, mas também na subterrânea (Fujimoto *et al.*, 1999). Segundo Komiyama *et al.* (2008), a grande produção de raízes também estaria associado a mais uma adaptação das espécies de manguezais, pois esta alta produção está associada à capacidade de fixação e sustentação dessas árvores em ambiente com substrato não consolidado.

1.1.1 Biomassa em Florestas de Mangue

As florestas de mangue estão entre as mais ricas em carbono nos trópicos, podendo conter até 1.023 toneladas por hectare, em estimativas mais recentes (Donato *et al.*, 2011). Os solos das florestas de mangue são ricos em carbono orgânico.

De acordo com Lugo e Snedaker (1974), a variabilidade observada na biomassa de manguezais é função do desenvolvimento e crescimento da floresta e da variabilidade estrutural. Segundo Clough e Attiwill (1982), a taxa de acúmulo de biomassa varia de acordo com

variações nas taxas de fotossíntese, respiração e acúmulo de carbono incorporado nos compartimentos lenhosos em relação aos compartimentos menos "duráveis", como folhas e material reprodutivo. Tais processos, segundo estes autores, são sensíveis a variações locais e regionais do clima, bem como de outras variáveis ambientais.

Sherman *et al.* (2003) ressalta que o caráter estrutural e funcional das florestas de mangue varia em níveis globais e em escalas locais. Em uma escala global, a temperatura e a radiação solar possui controle dominante sobre o desenvolvimento estrutural e crescimento das florestas de mangue. Em escalas locais, os padrões espaciais de composição, biomassa e produtividade são provavelmente controlados principalmente por fatores edáficos, histórico de perturbação e padrões de inundação pelas marés.

A biomassa das florestas de mangue varia em função de diversos fatores como: idade, espécies dominantes e localidade. As espécies de mangue aparentemente possuem preferências ambientais distintas, como por exemplo, a preferência por ambientes mais inundados próximos à franja ou menos inundados, mais para o interior da floresta. De acordo com Komiyama *et al.* (2008) a biomassa aérea aparentemente parece ser menor nas regiões de franja e maior nos ambientes interiores (bacia), porém isto pode estar relacionado à colonização de novos bancos lamosos com deposições recentes de sedimento, conferindo um estágio sucessional inicial, com indivíduos mais jovens e menores, embora outros fatores também possam controlar esta taxa de incremento na biomassa.

Em um estudo sobre o padrão de distribuição da biomassa aérea, subterrânea e a produtividade primária em florestas de mangue na República Dominicana, foi verificado que a produtividade primária foi relacionada inversamente à salinidade (Sherman *et al.*, 2003). Estrada *et al.* (2013) analisando a variabilidade estrutural dos manguezais na região de Guaratiba, na baía de Spetiba (Rio de Janeiro, Brasil), também observaram uma proporção inversa do crescimento e desenvolvimento estrutural em relação à salinidade. No entanto, estes autores também associam estas alterações no desenvolvimento estrutural a diferentes estágios sucessionais da floresta que podem ser uma resposta a alterações do nível médio relativo do mar na área de estudo, permitindo o avanço da floresta de mangue em direção às planícies hipersalinas adjacentes.

O estudo da biomassa pode ter diversas aplicações, Soares (1997), descreve, especificamente para manguezais, algumas destas: "(1) estimativa da produtividade primária dos manguezais, tendo em conta os dados sobre a produção; (2) determinação de armazenagem de elementos neste ecossistema, matéria orgânica, nutrientes e metais pesados; (3) medição das

condições do sistema (grau de maturidade, desenvolvimento estrutural, e níveis de estresse); (4) indicação da resposta dos manguezais de vários experimentos, e (5) avaliação dos valores comerciais de biomassa para empresas envolvidas na exploração de madeira e práticas de silvicultura”.

Embora o termo “biomassa florestal” refira-se a toda matéria de origem biológica dos componentes vegetais de uma floresta (Silveria *et al.*, 2008), existe uma disparidade na proporção entre estudos realizados com biomassa aérea e subterrânea. Este fato mostra um esforço maior para a realização de estudos na parte acima do solo, o que pode ser verificado com a revisão sobre biomassa em florestas de mangue realizada por Komiyama *et al.* (2008). Boa parte desta diferença na quantidade de estudos é em função da grande dificuldade da extração de material, de um substrato inconsolidado e frequentemente alagado, como relatado por Komiyama *et al.* (2008) e outros autores que se dispuseram a realizar tal esforço (e.g. Komiyama *et al.*, 1988; Komiyama *et al.*, 2000; Pougnparn *et al.*, 2005).

Komiyama *et al.*, (1988) estimou a biomassa acima do solo em um manguezal, em estágio sucessional primário, dominado por espécies dos gêneros *Rhizophora*, *Sonneratia* e *Brugueira* e encontrou os seguintes valores 169,1; 356,8 e 436,4 t.ha⁻¹, respectivamente. Fromard *et al.* (1998) estimou a biomassa acima do solo na Guiana Francesa para as seguintes espécies: *Avicennia germinans*, *R. mangle* e *R. racemosa* e *L. racemosa* e a biomassa total variou de 31 t.ha⁻¹ para os estágios pioneiros a 315 t.ha⁻¹ para o manguezal mais maduro. Fromard *et al.* (1998) também realizou uma compilação de estudos, onde alguns destes apresentaram valores maiores que os encontrados em sua área de estudo. Nesta revisão a maior biomassa aérea foi encontrada na Ásia, em florestas maduras dominadas por *Brugueira gymnorhiza*, com valores de 406,6 a 436,4 t.ha⁻¹ e 460 t.ha⁻¹ de biomassa para florestas de *R. apiculata*. No sudeste da Ásia, (Komiyama *et al.*, 2000) estimou a biomassa acima e abaixo do solo, dominada pela espécie *Ceriops tagal* e encontrou os seguintes valores 53,35; 23,61; 13,29; 1,99 e 87,51 t.ha⁻¹ respectivamente, para o tronco, ramos, folhas, rizofóros, e raízes (abaixo do solo). Estrada (2013) também realizou uma revisão dos estudos de estoque de carbono na biomassa aérea, sendo a maior revisão sobre o assunto, com a análise de 73 artigos. Este autor encontrou variação do estoque de carbono entre 0,9 tC.ha⁻¹ e 418,5 tC.ha⁻¹.

Porém, como dito anteriormente, estes valores podem variar em função tanto do tipo de floresta, como da idade e composição específica, como mostra Fromard *et al.* (1998), na mesma compilação de estudos citada acima, na qual, ao apresentar valores encontrados na literatura para biomassa aérea mostra que estes também podem ser baixos para florestas de *R. mangle* com

apenas 7,9 t.ha⁻¹, seguidos por florestas de *A. marina* com 6,8 t.ha⁻¹ e *B. gymnorrhiza* com 5,8 t.ha⁻¹, todos para florestas arbustivas, ou replantadas e jovens, ou pioneiras respectivamente. Em outra revisão, mais recente, Komiyama *et al.* (2008) apresenta os mesmos valores máximos e mínimos, mesmo tendo aumentado o número de estudos realizados, sendo ainda os maiores valores aqueles citados para a Ásia.

De acordo com Pool *et al.* (1977), manguezais com maior atividade das marés e volume de água geralmente têm maior produção do que os manguezais em áreas com água estagnada. Matsui (1998) enfatiza que a frequência de inundação tem um forte efeito na condição redutora de sedimentos e na preservação do carbono orgânico em florestas de mangue.

Ong *et al.* (2004) estudaram a alocação de biomassa para manguezal da Malásia, tendo como espécie escolhida *R. apiculata*, e mostraram que a alocação da biomassa é muito variável para as árvores menores (DAP <15 cm), mas relativamente constante para as árvores com DAP maiores. Alongi *et al.* (2003) estudaram a partição da biomassa e de reservatórios de carbono orgânico, para espécies de *Rhizophora* e *Avicennia* em um manguezal da Austrália, os seguintes componentes contribuíram em ordem decrescente: troncos (24-26%), ramos (19-20%), raízes finas vivas (15-19%) e folhas (2-4%). Soares (1997) também estudou o padrão de alocação de biomassa aérea em manguezais no Brasil, na região de Guaratiba (Rio de Janeiro) e na baixada santista. Este autor também encontrou uma maior concentração nas partes lenhosas e estruturas de sustentação. De acordo com Givnish (1988) o vegetal, conforme se desenvolve e cresce, aloca mais biomassa para tecidos do tronco e ramos (tecidos lenhosos e de sustentação), garantindo a necessidade de suporte para manter a estabilidade mecânica do organismo e da parte verde, uma vez que após um aumento da parte fotossintetizante, segundo Ovington (1957), ocorre a estabilização da mesma, refletindo o ótimo de utilização da luz incidente.

Saenger e Snedaker (1993) relatam que o padrão de partição de matéria orgânica também varia de acordo com a latitude, em uma revisão sobre biomassa de florestas de mangue no mundo. Estes autores observaram uma relação significativa entre a biomassa, desenvolvimento (expressa em altura) e latitude.

Saenger e Snedaker (1993) mostraram a ocorrência de uma diminuição nos valores de biomassa em latitudes elevadas. Em altas latitudes, as florestas primárias, na sua maioria, têm uma biomassa próxima de 100 t.ha⁻¹ (Komiyama *et al.*, 2008). Embora seja relatado um baixo valor de biomassa para altas latitudes, algumas exceções podem ocorrer como no estudo de Mackey (1993), onde este autor apresentou um valor elevado para biomassa aérea de uma

floresta de *A. marina*, com valor de 341 t.ha⁻¹. Esta diferença no desenvolvimento estrutural entre regiões de latitudes diferentes foi verificada também por Asaeda e Kalibbala (2009) em relação à dinâmica da floresta. Estes autores realizaram em manguezal do Japão um estudo que simulou a dinâmica de crescimento e produção de *R. apiculata*. O modelo criado por eles foi capaz de simular a dinâmica de crescimento de *R. apiculata* em latitudes mais baixas, com razoável precisão ($R^2 \geq 0,80$). No entanto, os resultados da previsão em latitudes mais elevadas foram insatisfatórios. Esta discrepância nos resultados é, provavelmente, atribuída a outros fatores como distribuição de chuvas, a estrutura do solo, entre outros.

Fromard *et al.* (1998) na sua revisão, mostraram que, até o final da década de 90, a maioria dos dados publicados diziam respeito a manguezais do sul e leste da Ásia e Austrália, e que há poucos dados disponíveis para manguezais do continente Sul-Americano. Recentemente conforme visto no levantamento de Komiyama *et al.* (2008) a maioria dos estudos ainda são realizados nesta região, embora tenham sido feitos novos estudos na região americana (e.g Soares, 1997; Sherman *et al.*, 2003; Coronado-Molina *et al.*, 2004; Soares e Schaeffer-Novelli, 2005, Estrada, 2013). E na revisão elaborada por Estrada (2013) a mesma tendência, de concentração dos estudos na região Indo-pacífica, foi verificada.

A maior parte dos estudos existentes contemplam a biomassa aérea em florestas de mangue, enquanto que a biomassa de raízes é bem menos estudada, conforme podemos ver na revisão sobre biomassa de florestas de mangue confeccionada por Komiyama *et al.* (2008). Alguns autores mostram que em florestas de mangue a biomassa subterrânea pode contribuir com mais da metade da biomassa total da floresta (e.g. Komiyama *et al.*, 1987).

1.1.2 Objetivo

O objetivo deste estudo é fornecer uma visão sobre o estado da arte dos estudos sobre a biomassa subterrânea em florestas de mangue, além desse objetivo, este conta com os seguintes objetivos específicos:

(1) apresentar as estimativas globais de estoque de carbono realizadas para este compartimento em manguezais do mundo;

(2) apresentar uma revisão dos principais métodos utilizados para realizar estas estimativas;

(3) realizar relações com a biomassa aérea de uma forma geral com base nas estimativas disponíveis na literatura e;

(4) calcular os valores de estoque global de carbono na biomassa subterrânea.

1.2 Métodos

1.2.1 Levantamento bibliográfico

Para a realização desta revisão foram verificadas as bases das principais editoras, bases de armazenamento de periódicos científicos e mecanismos de busca específico para publicações científicas on-line: Willey, Science Direct, Web of Science, J-Stor, Scielo, Springer e Google Scholar. Abrangendo, assim, basicamente toda bibliografia sobre o assunto, contendo somente dados originários de publicações em artigos científicos. A chamada literatura cinza, como monografias (de graduação, mestrado ou doutorado), livros, relatórios e trabalhos publicados em anais de encontros científicos ou eventos, comunicação pessoal e dados não publicados de grupos de pesquisa, foram inseridos quando citados por outros autores e considerados de grande relevância, quando estas configuraram as únicas informações referente à determinada localidade ou assunto. Assim, optamos por restringir a fonte das referências e dados utilizados, a artigos publicados em periódicos científicos, em função do maior rigor científico, revisão por especialistas e critério para publicação, aumentando a confiabilidade nos dados aqui apresentados. Além dos trabalhos encontrados no levantamento bibliográfico, também foram utilizados os dados originais produzidos nesta tese.

O nome das espécies aqui utilizado segue aquele citado pelos autores em seus respectivos artigos científicos, como por exemplo os autores Comley e McGuinness (2005) que tratam em seu artigo científico *Cerriops tagal* como *Cerriops australis*, os mesmos não consideram a nomenclatura taxonômica válida (*Cerriops tagal*).

Os termos utilizados para a pesquisa, sempre seguidos da palavra “manguezal”, foram: biomassa de raízes; biomassa subterrânea; estoque de carbono.

1.2.2 Análise dos dados e estoque de carbono

Para a apresentação dos valores de estoque de carbono foram utilizados os valores apresentados pelos próprios autores, ou quando os valores apresentados referiam-se à biomassa, foi utilizado o valor de 40,8% sugerido por Khan *et al.* (2007), para a conversão em estoque de carbono. Embora outros autores apresentem valores maiores, como 45% de Twilley *et al.* (1992), ou próximos ao apresentado por Khan *et al.* (2007), como 41,5% (Bouillon *et al.*, 2008), nesta análise optou-se por usar um valor não só específico para raízes como o menor descrito na literatura, com uma abordagem mais conservadora, uma vez que Khan *et al.* (2007) mostram que existem diferenças de valores entre espécies, profundidades e diferentes tecidos da raiz. Assim, utilizando um valor de teor de carbono orgânico conservadoramente mais baixo, a comparação entre os valores de estoque de carbono também serão realizadas de uma maneira mais conservadora.

Os dados apresentados e utilizados para calcular a relação entre a biomassa subterrânea e a biomassa aérea correspondem aos valores apresentados pelos autores para as suas respectivas unidades de amostragem (p.ex. indivíduo, parcela) ou para área onde foram realizados os estudos (p.ex. faixa, área de estudo etc) assim como os dados utilizados para o cálculo do estoque de carbono.

1.2.3 Análises estatísticas

As comparações das médias de biomassa e seu respectivo estoque de carbono por faixas latitudinais foram realizadas através do teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis. A análise de regressão linear simples entre a biomassa subterrânea e a biomassa aérea foi confeccionada utilizando-se as recomendações e o processo descrito de forma geral por Zar (1996), bem como os testes “t” para os coeficientes da equação. As análises estatísticas foram

realizadas com o auxílio do programa *Statistica 7.0*®, utilizando 5% ($p < 0,05$) como nível de significância do teste.

1.3 Resultados e discussão

Um total de 47 artigos científicos e 2 teses de doutorado foram encontradas descrevendo a biomassa subterrânea em florestas de mangue. Porém destes apenas 21 fornecem valores de biomassa subterrânea e 4 fornecem valores de estoque de carbono, que foram convertidos em valores de biomassa de acordo com a metodologia descrita acima. Os demais artigos produziram modelos matemáticos para estimar a biomassa subterrânea, ou analisam esta somente como parte da biomassa total do sistema sem valores específicos para este compartimento. Nestes casos, os estudos foram incluídos no item pertinente a análise dos respectivos métodos utilizados quando possível.

A biomassa de raízes subterrâneas variou entre $4,70 \text{ t.ha}^{-1}$ e $1065,69 \text{ t.ha}^{-1}$ com uma média de $181,24 \text{ t.ha}^{-1}$. A maior contribuição de raízes finas foi de 64,4% e a menor contribuição foi de 8%. A relação entre biomassa aérea e biomassa subterrânea (S/A) variou entre 0,02 e 5,11 com uma média de 0,94, os estoques de carbono variaram entre $1,92 \text{ tC.ha}^{-1}$ e $434,8 \text{ tC.ha}^{-1}$ e com uma média de $75,34 \text{ tC.ha}^{-1}$.

A biomassa subterrânea possui importante contribuição na biomassa total de sistemas florestais como dito anteriormente. No entanto, Komiyama *et al.* (1987) ao realizar uma comparação mostrou que a biomassa subterrânea dos manguezais podem ser cerca de 230 vezes maior do que a de sistemas florestais tropicais e de 80 vezes do que a de sistemas temperados.

Cairns *et al.* (1997) realizou um levantamento da biomassa de raízes subterrâneas em florestas de terra firme e não alagáveis ao longo do globo terrestre e encontrou uma variação de 2 t.ha^{-1} a 406 t.ha^{-1} . O maior valor de biomassa encontrado por estes autores foi menor do que o valor encontrado, por exemplo, por Komiyama *et al.* (1987) para florestas de mangue na Tailândia e Donato *et al.* (2011; 2012) para florestas da Micronésia.

1.3.1 Relação entre a biomassa subterrânea e a biomassa aérea em manguezais

Em contraste com florestas terrestres, as raízes, em alguns manguezais, podem contribuir com 50% ou mais da biomassa total (Briggs, 1977). Na Tabela 2 é apresentada a relação entre biomassa aérea e biomassa subterrânea em florestas de mangue. A razão entre a biomassa subterrânea e aérea (S/A) variou entre 0,02 até 5,11, com uma média de 0,94, mostrando que este compartimento pode ser muito representativo nas florestas de mangue conforme Donato *et al.* (2011) sugerem. Em um estudo realizado por Zhila *et al.* (2014) esta proporção se mostrou muito reduzida, sendo a relação entre biomassa de raízes subterrâneas e biomassa aérea de 0,02.

Gong e Ong (1990) estudaram a biomassa de florestas de mangue da Malásia, na mesma região de Zhila *et al.* (2014), porém estes autores observaram uma contribuição da biomassa de raízes de apenas 8,5% da biomassa total, o que corresponde a uma razão entre biomassa subterrânea e aérea de 0,09.

Saintilan (1997), que também estudou a proporção entre a biomassa subterrânea e aérea mostrou que esta proporção pode variar em função de um gradiente de frequência de inundação pelas marés. Este autor mostra que a razão entre a biomassa subterrânea e aérea tende a aumentar proporcionalmente em relação à salinidade, ou seja, quanto maior a salinidade, maior é a razão entre a biomassa subterrânea e aérea, com um aumento da contribuição da biomassa subterrânea na biomassa total. De acordo com Bernstein e Kafkafi (2002) a salinidade pode reduzir a biomassa radicular de plantas não halófitas. Porém isso ocorre inversamente em plantas halófitas, ou seja, como já existe uma adaptação ao ambiente salino, a redução da salinidade inibe o crescimento desta. De forma contrária o aumento da salinidade induz o crescimento das raízes (Bernstein e Kafkafi, 2002). A razão entre a biomassa subterrânea e aérea também pode ser influenciada pela salinidade, em função do direcionamento do investimento no crescimento, onde existe uma redução da biomassa aérea, em relação a biomassa subterrânea (Bernstein e Kafkafi, 2002). Isto ocorre para compensar as condições edáficas e reduzir a necessidade de nutrientes e água, reduzindo a parte aérea e aumentando a captação de água e nutrientes aumentando a biomassa de raízes (Bernstein e Kafkafi, 2002).

Ong *et al.* (2004), que também estudaram a partição da biomassa em *Rhizophora apiculata*, mostraram que a razão entre a biomassa subterrânea e aérea pode variar em relação a classe de diâmetro do tronco. Estes autores verificaram que nas menores classes de diâmetro a contribuição da biomassa de raízes na biomassa total do indivíduo é maior do que nas maiores

classes de diâmetro. Esta contribuição cai de 50% em árvores com circunferência menores de 3,5 cm para 5% em árvores com cerca de 15 cm de circunferência.

Comley e McGuinness (2005) em sua pesquisa no Norte da Austrália, onde foram amostradas a biomassa aérea e subterrânea das quatro espécies mais abundantes, *A. marina*, *Bruguiera exaristata*, *Ceriops australis* e *Rhizophora stylosa*, examinaram a partição da biomassa e descrevem que a biomassa de raízes representou 30% do total de biomassa. Kauffman *et al.* (2011) também mostraram que existe tanto um aumento da razão entre a biomassa subterrânea e aérea, como o inverso em função da distância do corpo hídrico. Donato *et al.* (2011) mostraram que esta razão também pode variar em função do tipo de floresta, se mais abrigadas ou mais expostas, dividindo em florestas estuarinas ou oceânicas.

Abohassan *et al.* (2012) estimou a biomassa para raízes aéreas e subterrâneas, em duas localidades na Arábia Saudita, onde a espécie predominante é *A. marina* e o valor de biomassa encontrado para raízes subterrâneas foi de 96,42 t.ha⁻¹ na região do Shuaiba e na região de Yanbu o valor foi de 39,12 t.ha⁻¹, no entanto estes autores coletaram somente raízes finas com diâmetro menor que 2 mm, mas não menciona qualquer valor para as demais classes de diâmetro das raízes.

Baseado nos valores de biomassa aérea e de raízes subterrâneas apresentados na tabela 2 foi confeccionada uma regressão linear simples entre essas duas variáveis e o resultado é apresentado na Figura 2. Esta regressão foi realizada forçando sua origem passando em “0”. Isto porque biologicamente quando não existe biomassa aérea, não deve existir biomassa subterrânea. O coeficiente de determinação (R²) da regressão, foi de 0,533 e mostrou-se significativo (p<0,001). Isto pode indicar que, embora haja uma relação entre os dois compartimentos da biomassa (aérea e subterrânea), isto significa que a variação na biomassa subterrânea não depende totalmente da biomassa aérea, ou seja, outros fatores que podem influenciar a biomassa subterrânea (como mostrado anteriormente), porém os mesmos não foram considerados nesta regressão.

Tabela 2 - Biomassa subterrânea, biomassa aérea e razão entre biomassa subterrânea e aérea (S/A) para florestas de mangue. (continua)

Local	Biomassa (t.ha ⁻¹)		Razão S / A	Referência
	Subterrânea	Aérea		
ÁSIA, OCEANIA				
Arábia Saudita	96,42	18,88	5,11	Abohassan <i>et al.</i> , 2012
Arábia Saudita	39,12	10,76	3,64	Abohassan <i>et al.</i> , 2012
Austrália	293,00	256,67	1,14	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	159,00	246,67	0,64	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	187,00	210,00	0,89	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	221,00	60,00	3,68	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	103,00	140,00	0,74	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	378,00	146,67	2,58	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	147,30	144,50	1,02	Briggs, 1977 *
Austrália	160,30	112,30	1,43	Briggs, 1977 *
Austrália			0,92 ^b	Comley e McGuinness, 2005
Austrália			1,33 ^b	Comley e McGuinness, 2005
Austrália			0,41 ^b	Comley e McGuinness, 2005
Austrália			0,47 ^b	Comley e McGuinness, 2005
Austrália	109	162,00	0,67	Mackey, 1993
Austrália	121,00	341,00	0,35	Mackey, 1993
Austrália	126,00	110,00	1,15	Mackey, 1993
Austrália	274,51	649,51	0,42	Matsui, 1998
Austrália	154,41	362,75	0,43	Matsui, 1998
Austrália	112,75	264,71	0,43	Matsui, 1998
Austrália	90,69	213,24	0,43	Matsui, 1998
Austrália	227,94	544,12	0,42	Matsui, 1998
Austrália	237,75	566,18	0,42	Matsui, 1998
Austrália	154,41	365,20	0,42	Matsui, 1998
Austrália	90,69	213,24	0,43	Matsui, 1998
Austrália	71,08	169,12	0,42	Matsui, 1998
Austrália	90,69	213,24	0,43	Matsui, 1998
Austrália	105,39	252,45	0,42	Matsui, 1998
Austrália	90,69	215,69	0,42	Matsui, 1998
Austrália	71,08	169,12	0,42	Matsui, 1998
Austrália	90,69	213,24	0,43	Matsui, 1998
Austrália	127,45	301,47	0,42	Matsui, 1998
Austrália	53,92	127,45	0,42	Matsui, 1998
Índia	15,84	68,60	0,23	Ray <i>et al.</i> , 2011
Índia	17,73	76,70	0,23	Ray <i>et al.</i> , 2011
Índia	18,22	78,80	0,23	Ray <i>et al.</i> , 2011
Índia	15,25	68,50	0,22	Ray <i>et al.</i> , 2011
Índia	17,12	72,10	0,24	Ray <i>et al.</i> , 2011
Índia	22,80	98,10	0,23	Ray <i>et al.</i> , 2011

Tabela 2 - Biomassa subterrânea, biomassa aérea e razão entre biomassa subterrânea e aérea (S/A) para florestas de mangue. (continuação)

Local	Biomassa (t.ha ⁻¹)		Razão S / A	Referência
	Subterrânea	Aérea		
ÁSIA, OCEANIA				
Índia	15,29	65,30	0,23	Ray <i>et al.</i> , 2011
Índia	21,07	90,20	0,23	Ray <i>et al.</i> , 2011
Índia	30,52	131,90	0,23	Ray <i>et al.</i> , 2011
Índia	39,64	171,80	0,23	Ray <i>et al.</i> , 2011
Índia	25,16	109,10	0,23	Ray <i>et al.</i> , 2011
Indonésia	180,70	436,40	0,41	Komiyama <i>et al.</i> , 1988 *
Indonésia	110,80	406,60	0,27	Komiyama <i>et al.</i> , 1988 *
Indonésia	196,10	356,80	0,55	Komiyama <i>et al.</i> , 1988 *
Indonésia	177,20	299,10	0,59	Komiyama <i>et al.</i> , 1988 *
Indonésia	98,80	216,80	0,46	Komiyama <i>et al.</i> , 1988 *
Indonésia	94,00	178,20	0,53	Komiyama <i>et al.</i> , 1988 *
Indonésia	38,50	169,10	0,23	Komiyama <i>et al.</i> , 1988 *
Indonésia	11,94	56,79	0,21	Kusmana, 1997
Indonésia	18,47	46,98	0,39	Kusmana, 1997
Indonésia	30,41	103,76	0,29	Kusmana, 1997
Japão	67,00	75,10	0,89	Khan <i>et al.</i> , 2007
Japão	71,80	80,50	0,89	Khan <i>et al.</i> , 2009
Malásia			0,09 ^b	Gong e Ong, 1990
Malásia	4,70	305,46	0,02	Zhila <i>et al.</i> , 2014
Malásia	12,12	122,78	0,10	Zhila <i>et al.</i> , 2014
Micronésia	437,50	536,64	0,82	Donato <i>et al.</i> , 2012
Micronésia	215,00	251,00	0,86	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Micronésia	392,00	456,00	0,86	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Micronésia	333,00	383,00	0,87	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Micronésia	312,00	363,00	0,86	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	231,47	222,63	1,04	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	129,31	120,91	1,07	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	14,01	4,96	2,83	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	36,85	27,37	1,35	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	168,75	144,61	1,17	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	391,59	312,72	1,25	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	423,71	385,13	1,10	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	223,92	182,76	1,23	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	333,62	314,22	1,06	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	239,22	192,03	1,25	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	314,22	200,86	1,56	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	247,84	64,22	3,86	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	146,55	94,83	1,55	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	188,36	119,40	1,58	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	210,56	122,20	1,72	Donato <i>et al.</i> , 2011

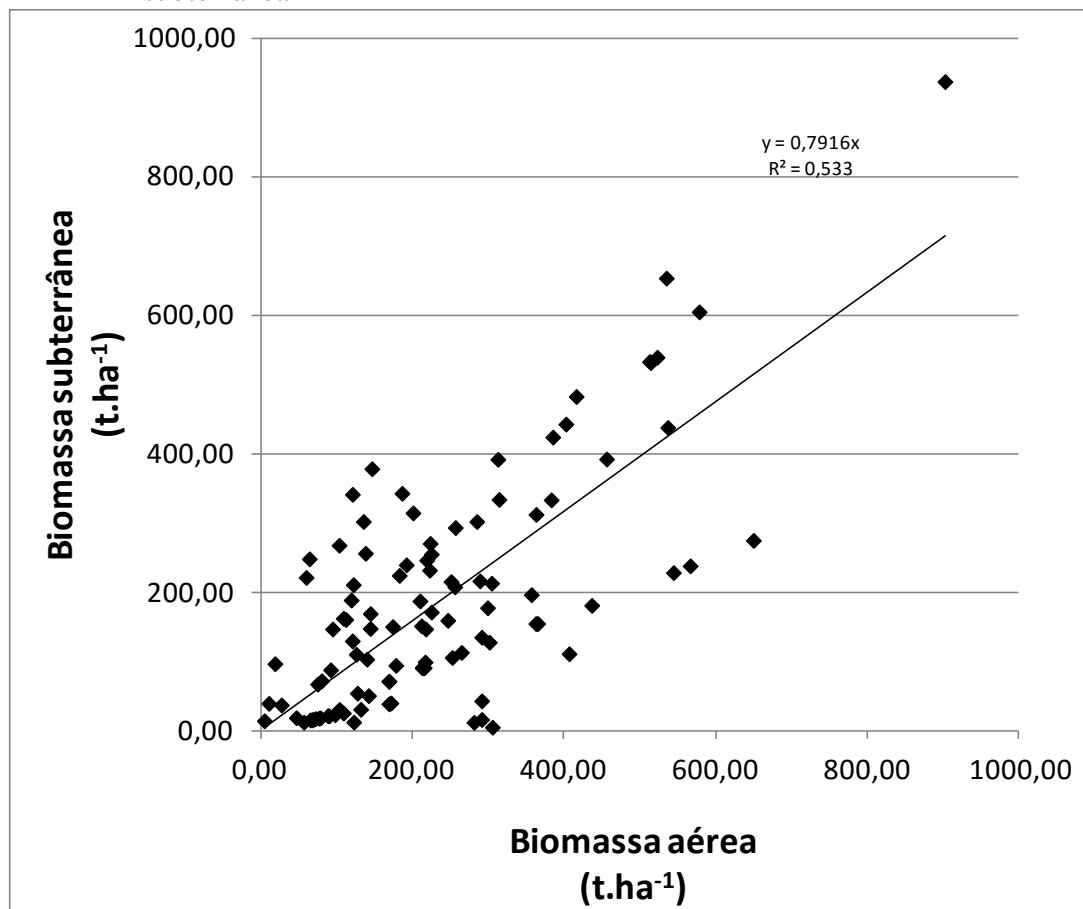
Tabela 2 - Biomassa subterrânea, biomassa aérea e razão entre biomassa subterrânea e aérea (S/A) para florestas de mangue. (conclusão)

Local	Biomassa (t.ha ⁻¹)		Razão S / A	Referência
	Subterrânea	Aérea		
ÁSIA, OCEANIA				
Micronésia, Indonésia, Índia	254,53	225,00	1,13	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	301,72	284,91	1,06	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	442,46	402,37	1,10	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	604,53	578,02	1,05	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	531,25	514,01	1,03	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	937,07	901,94	1,04	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	532,76	512,72	1,04	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	539,01	522,63	1,03	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	653,23	534,70	1,22	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	482,33	415,95	1,16	Donato <i>et al.</i> , 2011
Palau	146,55	217,67	0,67	Donato <i>et al.</i> , 2011
Palau	150,00	174,00	0,86	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Palau	151,00	212,00	0,71	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Palau	216,00	289,00	0,75	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Palau	171,00	225,00	0,76	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Tailândia	15,89	291,40	0,05	Chalermchatwilai <i>et al.</i> , 2011
Tailândia	42,75	291,40	0,15	Chalermchatwilai <i>et al.</i> , 2011
Tailândia	134,67	291,40	0,46	Chalermchatwilai <i>et al.</i> , 2011
Tailândia	87,51	92,24	0,95	Komiyama <i>et al.</i> , 2000
Tailândia	50,30	142,20	0,35	Poungparn, 2003 *
Tailândia	11,76	281,20	0,04	Tamai <i>et al.</i> , 1986
Vietnã	-	-	0,69	Okimoto <i>et al.</i> , 2008 ^a
Vietnã	-	-	0,26	Okimoto <i>et al.</i> , 2008 ^a
Vietnã	-	-	0,39	Okimoto <i>et al.</i> , 2008 ^a
AMÉRICA				
Brasil	270,09	223,47	1,21	Esta tese
Brasil	212,68	304,43	0,70	Esta tese
Brasil	245,90	218,88	1,12	Esta tese
Brasil	207,42	255,95	0,81	Esta tese
Brasil	342,53	186,36	1,84	Esta tese
Brasil	301,77	135,46	2,23	Esta tese
Brasil	255,89	138,18	1,85	Esta tese
Brasil	267,50	103,44	2,59	Esta tese
Brasil	348,94	152,00	2,30	Esta tese
Brasil	226,49	105,44	2,15	Esta tese
Porto Rico	50,00	62,90	0,79	Golley <i>et al.</i> , 1962 *
Panama	189,70	279,20	0,68	Golley <i>et al.</i> , 1975 *
República Dominicana	66,00	233,50	0,28	Sherman <i>et al.</i> , 2003

Legenda: ^aO autor forneceu somente a razão S/A; ^b proporção calculada com base na contribuição (%) de cada um dos componentes.

Fonte: *Dados retirados de Komiyama *et al.*, 2008.

Figura 2 - Resultados da regressão linear simples entre a biomassa aérea e biomassa subterrânea



Legenda: Onde $y = 0,7916x$ ($R^2 = 0,533$ e $p < 0,0001$; $t(a) = 0,8053$ e $p = 0,4224$; $t(b) = 11,3377$ e $p < 0,0001$).

Sherman *et al.* (2003) mostraram que esta relação pode variar em função da localização na floresta em relação à proximidade do corpo hídrico, refletindo a diferença na estrutura da floresta em função do tipo fisiográfico na qual ela se encontra, assim como Donato *et al.* (2011) mostram que as proporções entre biomassa subterrânea e a biomassa aérea também variam entre os tipos de floresta. Estes autores apresentam a diferença na alocação em biomassa entre manguezais estuarinos e oceânicos, onde aqueles localizados na região oceânica apresentam maior biomassa subterrânea, em comparação àqueles localizados no estuário. Neste caso, florestas do mesmo tipo fisiográfico (franja), apresentam diferenças entre si em função da sua posição com relação ao oceano, ora em locais mais abrigadas ora em locais mais expostos, fazendo com que possuam características físico-químicas distintas.

1.3.2 A distribuição vertical e compartimentação da biomassa subterrânea

As raízes finas das árvores em manguezais estão concentradas em ramos laterais que surgem a partir de raízes perenes. As raízes finas com diâmetros menores que 2 mm são a principal fonte de absorção de água e nutrientes pelas plantas e desempenham um papel importante para o ecossistema, uma vez que sem elas os nutrientes poderiam não ser absorvidos e muitos compostos inorgânicos e orgânicos teriam seus ciclos incompletos ou prejudicados (Chalermchatwilai *et al.*, 2011). Em alguns manguezais, pode ser observado um comportamento excepcional onde as raízes finas correspondem a apenas 10% da biomassa total (Sherman *et al.*, 2003). O estudo conduzido por este autor foi realizado em uma floresta de mangue na República Dominicana, dominada por *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*, com uma pequena contribuição de *Avicennia germinans*. Neste estudo foi identificada uma biomassa média de 7,9 t.ha⁻¹ para as raízes finas (menores de 2 mm de diâmetro).

A biomassa subterrânea, assim como a biomassa aérea também pode ser dividida em compartimentos, estes diferentes da parte aérea, possuem uma classificação segundo o diâmetro da raiz (Komiyama *et al.*, 1987). Em uma floresta de mangue no sul da Tailândia, mais de 50% do total de biomassa de raízes foi alocado nas raízes finas (< 2 mm de diâmetro) a proporção variou de 46,4% a 66,4% o que mostra uma alta biomassa radicular de raízes finas (Komiyama *et al.*, 1987). Alongi *et al.* (2003), em seu estudo sobre a partição da biomassa em um manguezal da Austrália, identificou uma pequena proporção de biomassa de raízes finas para as duas espécies pesquisadas, que foram *Rhizophora stylosa* e *Avicennia marina*, sendo que dos componentes estudados as raízes finas contribuíram com 8-27 % e 12-19% respectivamente.

A distribuição da biomassa subterrânea em relação à distância da base da árvore não é bem conhecida, mesmo em florestas de terra firme (Yanai *et al.*, 2006). Os poucos estudos mostram que a maior parte da biomassa radicular grossa é encontrada próximo à base do caule (Millikin e Bledsoe, 1999). No estudo de Sherman *et al.* (2003) o percentual de raízes de diâmetro médio (2-20 mm) foi substancialmente significativo com uma contribuição de 88%.

Tamooh *et al.* (2008) com sua pesquisa realizada no Quênia com as espécies *Rhizophora mucronata*, *Sonneratia alba* e *A. marina* observou que raízes menores que 20 mm de diâmetro contribuíram com 86% da biomassa total de raízes em todas as espécies. Tamooh *et al.* (2008) também descreveram que em geral a contribuição da biomassa de raízes diminui quando

aumentam os diâmetros desta, ou seja a contribuição de cada classe diamétrica das raízes subterrâneas é inversa ao tamanho dos diâmetros. Estes mesmos autores encontraram uma contribuição muito maior para as raízes que possuíam diâmetros menores que 5 mm, encontrando uma contribuição de 24% para *R. mucronata*, 45% para *S. alba* e 42% para *A. marina*. Estimativas de biomassa radicular devem, portanto, diferenciar entre raízes grossas e finas tanto na amostragem como na descrição dos resultados (Komiyama *et al.*, 2000). Segundo Clough (1992) essa questão deve ser analisada de forma ainda mais complexa, devendo-se buscar a separação de raízes vivas e raízes mortas, para que não ocorra uma superestimativa da biomassa de raízes vivas. Todavia esse procedimento é extremamente difícil e praticamente não é adotado nos diversos estudos que tratam desse tema.

Raízes finas podem se estender por longas distâncias do caule e sua propagação pode refletir a distribuição de nutrientes no solo (Yanai *et al.*, 2006) e são menos sensíveis à distância da base da árvore (Millikin e Bledsoe, 1999). Em florestas de mangue a biomassa de raízes aumenta em direção às zonas mais interiores da floresta na direção contrária ao corpo hídrico devido à diminuição da frequência de inundações pelas marés (Komiyama, 1987; Sherman *et al.*, 2003). A biomassa de raízes finas, raízes vivas e raízes mortas, podem variar em função da distância do corpo hídrico, mostrando uma tendência de aumento em relação ao afastamento do corpo hídrico, este aumento pode estar relacionado ao aumento do desenvolvimento estrutural da floresta de mangue em direção a um habitat mais terrestre, quando este ocorre (Kauffman *et al.*, 2011).

Assim como podemos verificar uma diferença em relação à biomassa de raízes vivas e raízes mortas, e entre as diferentes classes de tamanho, também existe uma variação ao longo do perfil do solo, na qual a biomassa apresenta uma estratificação e uma variação vertical, porém são poucos os trabalhos que discutem a estratificação da biomassa, sendo os mesmos descritos a seguir. Tamooh *et al.* (2008), estudando florestas de mangue no Quênia, observaram que a biomassa das raízes vivas e o diâmetro destas diminuiu com a distância da base da árvore, a biomassa de raízes vivas diminuiu exponencialmente com o aumento da profundidade do solo. A maior contribuição da biomassa de raízes vivas, entre 44 e 67%, foi encontrada nos primeiros 20 cm de profundidade. Khan *et al.* (2007) quantificou o estoque de carbono de um manguezal monoespecífico em uma floresta pioneira no Japão, onde a espécie dominante é *Kandelia obovata* e também relata que a biomassa radicular apresentou o valor máximo na camada superior (0-20 cm) de profundidade e diminuiu gradualmente e proporcionalmente com o aumento da profundidade. Matsui (1998) relata em seu estudo realizado na Austrália, em

florestas de mangue com predominância da espécie *Rhizophora stylosa*, que o estoque de carbono na biomassa subterrânea encontrado nos primeiros 50 cm de profundidade do solo foi de 52 tC.ha⁻¹, representando apenas 11% do total de estoque de carbono orgânico da biomassa vegetal.

1.3.3 Estoque de carbono na biomassa subterrânea

O estoque de carbono nas florestas de mangue variaram de 1,9 tC.ha⁻¹ até 434,8 tC.ha⁻¹, com uma média de 75,34 tC.ha⁻¹ como pode ser verificado na Tabela 3. Utilizando a área estimada de 13.776.000 ha. (Giri *et al.*, 2011), obtemos um estoque global de 1.037.883.840 tC. Estrada (2013) apresenta uma média de estoque de carbono na biomassa aérea para florestas de manguezais de 78 tC.ha⁻¹, o que faz com que a razão seja compatível com aquela apresentada no item anterior. Donato *et al.* (2011) realizaram uma comparação entre o estoque de carbono de sistemas florestais de terra firme e de manguezais e mostraram que, quando comparadas somente o estoque na biomassa aérea dos dois sistemas (florestas de terra firme e manguezais), a diferença entre estes é pequena. Porém, quando os autores compararam o estoque de carbono aéreo e subterrâneo juntos, as florestas de mangue apresentam valores de estoque de carbono superiores a sistemas de florestas de terra firme. O mesmo padrão, de aumento do estoque de carbono das florestas de mangue quando inserido o estoque subterrâneo no sedimento e na biomassa, foi observado por Kauffman *et al.* (2011).

A variação do estoque de carbono na biomassa subterrânea entre as faixas latitudinais de 0° a 10°, 10° a 25° e mais que 25° apresenta diferença estatística significativa ($p < 0,05$), onde pode ser verificado uma tendência de redução do estoque de carbono na biomassa subterrânea em função do aumento das latitudes, com as respectivas medianas: 80,0 tC.ha⁻¹, 41,2 tC.ha⁻¹ e 26,9 tC.ha⁻¹.

Os dados aprestados por Cairns *et al.* (1997), embora tratados como biomassa de raízes e não como estoque de carbono na biomassa subterrânea, também podem mostrar uma tendência de redução dos valores nas regiões com latitudes mais altas (subtropicais e temperadas) em comparação com latitudes mais baixas (tropicais). Estrada (2013) também observou uma tendência de redução dos valores de estoque de carbono em relação ao aumento das latitudes.

A maior parte dos estudos estão localizados nas faixas latitudinais de 0° a 10° e 10° a 25°, ou seja na faixa tropical do globo, e poucos são os trabalhos desenvolvidos nas faixas latitudinais das zonas temperadas. Além disso também existe uma concentração de estudos na região Indo-Pacífica. A região Americana é a menos estudada com apenas 8 estudos, mostrando uma maior necessidade de estudos nesta região.

Tabela 3 - Valores de biomassa e estoque de carbono na biomassa subterrânea em manguezais de diferentes regiões. (continua)

Local	Espécie dominante	Biomassa de raízes subterrânea (t.ha ⁻¹)	Estoque subterrâneo tC.ha ⁻¹	Referência
Oceania, Ásia e África				
Arábia Saudita	<i>Avicennia marina</i>	96,42	39,34 *	Abohassan <i>et al.</i> , 2012
Arábia Saudita	<i>A. marina</i>	39,12	15,96 *	Abohassan <i>et al.</i> , 2012
Austrália	<i>R. stylosa</i>	293,00	100,00	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	<i>A. marina</i>	159,00	58,82	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	<i>R. stylosa</i>	187,00	70,59	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	<i>A. marina</i>	221,00	88,24	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	<i>R. stylosa</i>	103,00	41,18	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	<i>A. marina</i>	378,00	135,29	Alongi <i>et al.</i> , 2003
Austrália	<i>A. marina</i>	147,30	60,10 *	Briggs, 1977
Austrália	<i>A. marina</i>	160,30	65,40 *	Briggs, 1977
Austrália	<i>R. stylosa</i>	274,51	112,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	154,41	63,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	112,75	46,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	90,69	37,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	227,94	93,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	237,75	97,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	154,41	63,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	90,69	37,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	71,08	29,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	90,69	37,00	Matsui, 1998

Tabela 3 - Valores de biomassa e estoque de carbono na biomassa subterrânea em manguezais de diferentes regiões. (continuação)

Local	Espécie dominante	Biomassa de raízes subterrânea (t.ha ⁻¹)	Estoque subterrâneo (tC.ha ⁻¹)	Referência
Oceania, Ásia e África				
Austrália	<i>R. stylosa</i>	105,39	43,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	90,69	37,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	71,08	29,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	90,69	37,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	127,45	52,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>R. stylosa</i>	53,92	22,00	Matsui, 1998
Austrália	<i>A. marina</i>	109,00	44,47 *	Mackey, 1993
Austrália	<i>A. marina</i>	121,00	49,37 *	Mackey, 1993
Austrália	<i>A. marina</i>	126,00	51,41 *	Mackey, 1993
Índia	<i>A. marina, A. alba, A. officinalis</i>	15,84	6,81	Ray et al., 2011
Índia	<i>A. marina, A. alba, A. officinalis</i>	17,73	7,62	Ray et al., 2011
Índia	<i>A. marina, A. alba, A. officinalis, Ceriops sp</i>	18,22	7,83	Ray et al., 2011
Índia	<i>A. marina, A. alba</i>	15,25	6,56	Ray et al., 2011
Índia	<i>Excoecaria agallocha, A. marina, A. alba</i>	17,12	7,36	Ray et al., 2011
Índia	<i>A. marina, A. officinalis, Ceriops sps, E. agallocha,</i>	22,80	9,80	Ray et al., 2011
Índia	<i>A. marina, A. alba</i>	15,29	6,57	Ray et al., 2011
Índia	<i>A. marina, A. alba, A. officinalis</i>	21,07	9,06	Ray et al., 2011
Índia	<i>A. marina, A. alba, Ceriops sp, Agialitis rotundifolia</i>	30,52	13,12	Ray et al., 2011
Índia	<i>A. marina, A. alba, Ceriops, A. rotundifolia</i>	39,64	17,05	Ray et al., 2011

Tabela 3 - Valores de biomassa e estoque de carbono na biomassa subterrânea em manguezais de diferentes regiões. (continuação)

Local	Espécie dominante	Biomassa de raízes subterrânea (t.ha ⁻¹)	Estoque subterrâneo (t.ha ⁻¹)	Referência
Oceania, Ásia e África				
Índia	<i>A. marina, A. alba</i>	25,16	10,82	Ray <i>et al.</i> , 2011
Indonésia	<i>B. gymnorrhiza</i>	180,70	73,73 *	Komiyama <i>et al.</i> , 1988
Indonésia	<i>B. gymnorrhiza</i>	110,80	45,21	Komiyama <i>et al.</i> , 1988
Indonésia	<i>R. apiculata</i>	196,10	80,01 *	Komiyama <i>et al.</i> , 1988
Indonésia	<i>R. apiculata</i>	177,20	72,30 *	Komiyama <i>et al.</i> , 1988
Indonésia	<i>R. apiculata</i>	98,80	40,31 *	Komiyama <i>et al.</i> , 1988
Indonésia	<i>R. stylosa</i>	94,00	38,35 *	Komiyama <i>et al.</i> , 1988
Indonésia	<i>Sonneratia</i>	38,50	15,71 *	Komiyama <i>et al.</i> , 1988
Indonésia	<i>Rhizophora apiculata, R. mucronata</i>	11,94	4,87 *	Kusmana, 1997
Indonésia	<i>Bruguiera parviflora, B. sexangula</i>	18,47	7,54 *	Kusmana, 1997
Indonésia	<i>R. apiculata, R. mucronata, B. parviflora, B. sexangula, Ficus benjamina</i>	30,41	12,41 *	Kusmana, 1997
Japão	<i>Kandelia obovata</i>	67,00	26,90	Khan <i>et al.</i> , 2007
Japão	<i>K. obovata</i>	71,80	29,29 *	Khan <i>et al.</i> , 2009
Malásia	<i>mista</i>	4,70	1,92 *	Zhila <i>et al.</i> , 2014
Malásia	<i>mista</i>	12,12	4,94 *	Zhila <i>et al.</i> , 2014
Micronésia	<i>Rhizophora sp e Sonneratia sp</i>	497,55	203,00	Donato <i>et al.</i> , 2012
Micronésia	<i>Sonneratia alba, R. apiculata, Bruguiera gymnorrhiza</i>	215,00	100,00	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Micronésia	<i>S. alba, R. apiculata, B. gymnorrhiza</i>	392,00	178,00	Kauffman <i>et al.</i> , 2011

Tabela 3 - Valores de biomassa e estoque de carbono na biomassa subterrânea em manguezais de diferentes regiões. (continuação)

Local	Espécie dominante	Biomassa de raízes subterrânea (t.ha ⁻¹)	Estoque subterrâneo (tC.ha ⁻¹)	Referência
Oceania, Ásia e África				
Micronésia	<i>S. alba</i> , <i>R. apiculata</i> , <i>B. gymnorrhiza</i>	333,00	154,00	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Micronésia	<i>S. alba</i> , <i>R. apiculata</i> , <i>B. gymnorrhiza</i>	312,00	144,00	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Heritiera sp.</i> , <i>Excoecaria sp</i>	263,24	107,40	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Heritiera sp.</i> , <i>Excoecaria sp</i>	147,06	60,00	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp.</i> , <i>Rhizophora sp</i>	15,93	6,50	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp.</i> , <i>Rhizophora sp</i>	41,91	17,10	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Rhizophora sp.</i> , <i>Bruguiera sp</i>	191,91	78,30	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Bruguiera sp.</i> , <i>Rhizophora sp</i>	445,34	181,70	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Rhizophora sp</i>	481,86	196,60	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Bruguiera sp.</i> , <i>Rhizophora sp</i>	254,66	103,90	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Rhizophora sp</i>	379,41	154,80	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Rhizophora sp</i>	272,06	111,00	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Rhizophora sp</i>	357,35	145,80	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Rhizophora sp.</i> , <i>Xylocarpus sp</i>	281,86	115,00	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Rhizophora sp</i>	166,67	68,00	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp.</i> , <i>Rhizophora sp</i>	214,22	87,40	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp.</i> , <i>Rhizophora sp</i>	239,46	97,70	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Rhizophora sp</i>	289,46	118,10	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp.</i> , <i>Rhizophora sp</i>	343,14	140,00	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp.</i> , <i>Rhizophora sp</i>	503,19	205,30	Donato <i>et al.</i> , 2011

Tabela 3 - Valores de biomassa e estoque de carbono na biomassa subterrânea em manguezais de diferentes regiões. (continuação)

Local	Espécie dominante	Biomassa de raízes subterrânea (t.ha ⁻¹)	Estoque subterrâneo tC.ha ⁻¹	Referência
Oceania, Ásia e África				
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp</i> , <i>Bruguiera sp</i>	687,50	280,50	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp</i> , <i>Bruguiera sp</i>	604,17	246,50	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp</i> , <i>Bruguiera sp</i>	1065,69	434,80	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp</i>	605,88	247,20	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp</i> , <i>Bruguiera sp</i>	612,99	250,10	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp</i> , <i>Bruguiera sp</i>	742,89	303,10	Donato <i>et al.</i> , 2011
Micronésia, Indonésia, Índia	<i>Sonneratia sp</i> , <i>Rhizophora sp</i>	548,53	223,80	Donato <i>et al.</i> , 2011
Palau	<i>Rhizophora e</i> <i>Sonneratia</i>	166,67	68,00	Donato <i>et al.</i> , 2012
Palau	<i>S. alba</i> , <i>R.</i> <i>apiculata</i> , <i>B.</i> <i>gymnorrhiza</i>	150,00	70,00	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Palau	<i>S. alba</i> , <i>R.</i> <i>apiculata</i> , <i>B.</i> <i>gymnorrhiza</i>	151,00	70,00	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Palau	<i>S. alba</i> , <i>R.</i> <i>apiculata</i> , <i>B.</i> <i>gymnorrhiza</i>	216,00	100,00	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Palau	<i>S. alba</i> , <i>R.</i> <i>apiculata</i> , <i>B.</i> <i>gymnorrhiza</i>	171,00	80,00	Kauffman <i>et al.</i> , 2011
Quênia	<i>R. mucronata</i>	7,50	3,06 *	Tamooch <i>et al.</i> , 2008
Quênia	<i>R. mucronata</i>	24,90	10,16 *	Tamooch <i>et al.</i> , 2008
Quênia	<i>R. mucronata</i>	35,80	14,61 *	Tamooch <i>et al.</i> , 2008
Quênia	<i>S. Alba</i>	53,40	21,79 *	Tamooch <i>et al.</i> , 2008
Quênia	<i>S. Alba</i>	75,50	30,80 *	Tamooch <i>et al.</i> , 2008
Quênia	<i>S. Alba</i>	48,40	19,75 *	Tamooch <i>et al.</i> , 2008
Quênia	<i>A. marina</i>	43,70	17,83 *	Tamooch <i>et al.</i> , 2008

Tabela 3 - Valores de biomassa e estoque de carbono na biomassa subterrânea em manguezais de diferentes regiões. (continuação)

Local	Espécie dominante	Biomassa de raízes subterrânea (t.ha ⁻¹)	Estoque subterrâneo tC.ha ⁻¹	Referência
Oceania, Ásia e África				
Quênia	<i>A. marina</i>	43,70	17,83 *	Tamooh <i>et al.</i> , 2008
Quênia	<i>A. marina</i>	39,10	15,95 *	Tamooh <i>et al.</i> , 2008
Tailândia	<i>Avicennia alba e Sonneratia caseolaris</i>	15,89	6,48 *	Chalermchatwilai <i>et al.</i> , 2011
Tailândia	<i>R. mucronata e R. apiculata</i>	42,75	17,44 *	Chalermchatwilai <i>et al.</i> , 2011
Tailândia	<i>Xylocarpus granatum, B. gymnorrhiza, Ceriops tagal</i>	134,67	54,95 *	Chalermchatwilai <i>et al.</i> , 2011
Tailândia	<i>R. Apiculata, B. gymnorrhiza, B. cylindrica</i>	437,50	178,50 *	Komiyama <i>et al.</i> , 1987
Tailândia	<i>C. tagal</i>	87,51	35,70 *	Komiyama <i>et al.</i> , 2000
Tailândia	<i>C. tagal</i>	11,26	4,59 *	Komiyama <i>et al.</i> , 2000
Tailândia	<i>mista</i>	50,30	20,52 *	Poungparn, 2003
Tailândia	<i>Rhizophora</i>	11,76	4,80 *	Tamai <i>et al.</i> , 1986
Américas				
Brasil	<i>A. schaueriana</i>	270,09	112,45	Este estudo
Brasil	<i>R. mangle</i>	212,68	87,36	Este estudo
Brasil	<i>A. schaueriana</i>	245,90	102,08	Este estudo
Brasil	<i>A. schaueriana</i>	207,42	85,86	Este estudo
Brasil	<i>R. mangle</i>	342,53	141,46	Este estudo
Brasil	<i>A. schaueriana</i>	301,77	126,66	Este estudo
Brasil	<i>A. schaueriana</i>	255,89	107,63	Este estudo
Brasil	<i>A. schaueriana</i>	267,50	112,44	Este estudo

Tabela 3 - Valores de biomassa e estoque de carbono na biomassa subterrânea em manguezais de diferentes regiões. (conclusão)

Local	Espécie dominante	Biomassa de raízes subterrânea (t.ha ⁻¹)	Estoque subterrâneo tC.ha ⁻¹	Referência
Américas				
Brasil	<i>A. schaueriana</i>	348,94	239,63	Este estudo
Brasil	<i>A. schaueriana</i>	226,49	94,04	Este estudo
EUA	<i>R. mangle</i> , <i>A. germinas</i> , <i>L. racemosa</i> , <i>Conocarpus erectus</i>	31,98	13,05 *	Castañeda-Moya <i>et al.</i> , 2011
EUA	<i>R. mangle</i> , <i>A. germinas</i> , <i>L. racemosa</i> , <i>C. erectus</i>	43,89	17,91 *	Castañeda-Moya <i>et al.</i> , 2011
EUA	<i>R. mangle</i> , <i>A. germinas</i> , <i>L. racemosa</i> , <i>C. erectus</i>	25,32	10,33 *	Castañeda-Moya <i>et al.</i> , 2011
EUA	<i>R. mangle</i> , <i>A. germinas</i> , <i>L. racemosa</i> , <i>C. erectus</i>	24,04	9,81 *	Castañeda-Moya <i>et al.</i> , 2011
EUA	<i>R. mangle</i> , <i>A. germinas</i> , <i>L. racemosa</i> , <i>C. erectus</i>	46,73	19,07 *	Castañeda-Moya <i>et al.</i> , 2011
EUA	<i>R. mangle</i> , <i>A. germinas</i> , <i>L. racemosa</i> , <i>C. erectus</i>	43,58	17,78 *	Castañeda-Moya <i>et al.</i> , 2011
Porto Rico	<i>R. mangle</i>	50,00 *	20,40 *	Golley <i>et al.</i> , 1962
Panama	<i>Rhizophora sp</i>	189,70 *	77,40 *	Golley <i>et al.</i> , 1975
República Dominicana	<i>R. mangle e L. racemosa</i>	66,00	26,93 *	Sherman <i>et al.</i> , 2003

Legenda: * Valores de estoque de carbono calculados com base nos dados disponíveis no estudo original, aplicando-se a taxa de conversão de biomassa em carbono de 40,8% proposta por Khan *et al.*, (2007).

1.3.4 Métodos para estimativa da biomassa subterrânea em florestas de mangue

Ao longo dos anos, os ecologistas têm desenvolvido diversos métodos para estimar a biomassa das florestas. Três principais métodos foram desenvolvidos para estimar a biomassa florestal: o método de desbaste ou método destrutivo (retirada de uma parte da floresta), o método de árvore média e os métodos alométricos (Komiyama *et al.*, 2008). Esses métodos dividem-se em métodos diretos e indiretos. Estas categorias podem ser aplicadas tanto para biomassa aérea ou subterrânea.

Nos métodos diretos é feita uma determinação da biomassa real de uma área 53ré-determinada da floresta. Nestes métodos as árvores devem ser cortadas e seus componentes separados e pesados para a biomassa aérea (Soares *et al.*, 2007; Silveira *et al.*, 2008) e grandes áreas são escavadas após a retirada da cobertura vegetal quando necessário. Este método requer um esforço e tempo considerável, além de destruir a vegetação nestas áreas, tornando dispendioso, cansativo e com alto custo ambiental. Portanto, relações alométricas para estimativa da biomassa a partir de medidas das árvores, como o diâmetro do caule à altura do peito (DAP) e altura das árvores (H), foram criadas para facilitar as estimativas, este método corresponde aqueles chamados de indiretos (Silveira *et al.*, 2008).

De acordo com Silveira *et al.* (2008), a estimativa de biomassa pelo método indireto consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil obtenção e que não requeira a destruição do material vegetal para calcular as estimativas. Porém existe a necessidade da coleta de material para obter os valores de biomassa que serão correlacionadas com os parâmetros, ou seja, existe uma etapa de amostragem direta e destrutiva previamente à criação dos modelos. As estimativas podem ser feitas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais (DAP, altura e volume), por dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite), utilizando-se uma base de dados em um sistema de informação geográfica (SIG).

Em florestas de mangue a amostragem direta (destrutiva) tem se apresentado como o método mais utilizado, ainda que neste ambiente as condições de execução deste seja muito mais difícil do que em ambientes de terra firme, visto que o substrato inconsolidado oferece grande instabilidade para a retirada do sedimento juntamente com as raízes. Por um outro lado a utilização de métodos indiretos (não-destrutivo), como os modelos que estimam a biomassa

subterrânea também não são uma alternativa totalmente isenta de ressalvas, uma vez que para a criação destes modelos é necessário uma etapa anterior de coleta direta da biomassa (destrutiva) e pode ser influenciado por diversos fatores, como será detalhado abaixo.

1.3.4.1 Métodos diretos

Os métodos diretos de amostragem de biomassa podem ser enquadrados em duas grandes categorias (Sanquetta, 2002). O primeiro método, consiste na coleta da biomassa de uma árvore individual, que procede-se mediante a seleção de uma árvore média, sendo necessária a realização prévia de inventário florestal e o segundo método de parcela, onde define-se uma área e todos os indivíduos contidos são incluídas na amostragem.

Pode-se optar pela retirada de raízes de alguns indivíduos somente, com conhecimento prévio da estrutura da floresta escolhendo aqueles que representem a estrutura média da floresta. Dessa maneira, pode se obter uma relação direta com parâmetros do indivíduo como DAP, altura, área basal, distância máxima de alcance das raízes, além de facilitar uma relação com determinado táxon. Estas relações podem ser utilizadas para geração de modelos alométricos, que são métodos indiretos. Komiyama *et al.* (2000), Kusmana (1997), Matsui (1998), Comley e McGuinness, 2005) e Okimoto *et al.* (2008) foram autores que utilizaram este método porém com desenhos amostrais e formas distintas de remover o sedimento, expor as raízes ou retirar o sedimento. Comley e McGuinness (2005) e Okimoto *et al.* (2008) utilizaram jato de água pressurizado para remover o sedimento das raízes. Porém estes autores relatam que este método pode remover as raízes mais finas em função da pressão da água.

No segundo método é feito com escavações das trincheiras (Komiyama *et al.*, 1987 e 2000; Khan *et al.*, 2007). Neste caso uma área é escolhida como se fosse uma parcela de pequenas proporções, depois todo o sedimento é escavado para retirada das raízes. A profundidade neste caso é variável, mas é recomendável a tentativa de retirar a maior profundidade possível ou escavar até a profundidade onde não são encontradas mais raízes.

Ainda na categoria dos métodos diretos, existe o método de testemunhos, onde o volume amostrado (área e profundidade) são reduzidos, quando comparados às trincheiras. Este método é o mais utilizado Neste caso são utilizados amostradores do tipo testemunho. Estes possuem

forma cilíndrica de diâmetros que não ultrapassam os 15,50 cm (Tamooh *et al.*, 2008), mas podem ter diâmetros bem menores como 5,14 cm (Kauffman *et al.*, 2011). Porém o volume do amostrador varia em função do diâmetro e da profundidade alcançada pelo mesmo. Esta profundidade pode variar em função de diversos fatores como a compactação do solo, profundidade do solo e até mesmo da capacidade de força exercida por quem utiliza o equipamento de coleta, visto que é necessário a operação manual destes extratores para retirada do testemunho. Abohassan *et al.* (2012) usaram um testemunho com 50 cm de profundidade enquanto que Mackey (1993) utilizou um testemunho com 300 cm de profundidade. Outros autores utilizaram profundidades de 30 cm (Gleason e Ewel, 2002; Chalermchatwilai *et al.*, 2011), 45 cm (Castañeda-Moya *et al.*, 2011), 100 cm (Donato *et al.*, 2012).

Os métodos diretos produzem estimativas mais confiáveis. Por estes motivos, as estimativas realizadas a partir de métodos diretos são as mais indicadas, porém, em função da dificuldade de coleta do material, a metodologia de testemunhos tem ganhado mais adeptos do que as demais, por ser mais barata, prática e rápida. No entanto, como demonstrado abaixo existem inúmeras formas de executar estes métodos, não existindo um consenso entre as metodologias.

Para Komiyama *et al.* (1987) o método de trincheira consegue prover uma boa estimativa de toda a biomassa de raízes subterrâneas, porque engloba as raízes de todos os tamanhos, vivas e mortas, isto porque o autor considera que a distribuição espacial da densidade de raízes varia de forma homogênea. Assim, a precisão da estimativa da biomassa é maior quando utilizamos este método. De acordo com Komiyama *et al.* (1987), ao escavar o sistema radicular é necessário muito cuidado, pois pequenas raízes são susceptíveis a quebras e são, assim, inevitavelmente excluídas da amostragem.

O método baseado na escavação de trincheiras foi utilizado por Komiyama *et al.* (1987), no entanto, nesse estudo, os valores obtidos através da escavação de trincheiras foram posteriormente utilizados na elaboração de um modelo baseado na dedução do comportamento radicular. Em seu estudo na Tailândia, Komiyama *et al.* (1987) analisaram uma floresta de mangue cuja espécie dominante era *R. apiculata*, tendo sido estabelecida uma trincheira com 0,2 m X 15,5 m X 1,0 m. A trincheira foi subdividida verticalmente em 10 camadas de 0,1 m de altura a uma profundidade total de 1,0 m. Khan *et al.* (2009) também utilizaram métodos de amostragem direta para estimativa da biomassa subterrânea. Esses autores escavaram uma trincheira com 20 m de comprimento, chegando até uma profundidade de 1,20 m, subdividida

em blocos de 2 m X 2 m com volume total amostrado de 4,8 m³. Estes autores chegaram à estimativa de 67 t.ha⁻¹ para a biomassa subterrânea.

No estudo de Komiyama *et al.* (2000), foi estudada uma floresta de mangue cuja espécie dominante era *Ceriops tagal*. Neste estudo foi escolhido um único indivíduo e em torno dele foi feita uma trincheira, seguindo a mesma metodologia utilizada em Komiyama *et al.* (1987), porém com medidas de comprimento e largura diferente, agora com 0,6 m de profundidade e 1,25 m de comprimento reduzindo o volume total escavado para 0,15 m³, onde cada bloco possuía as seguintes medidas: 0,20 m X 0,25 m X 0,10 m, as raízes foram classificadas em vivas e mortas.

Kusmana (1997) também utilizou a metodologia de trincheiras para escavar as raízes de indivíduos, porém este autor escavou as raízes de 22 indivíduos e utilizou o limite da copa de cada um como limite de distribuição das raízes do mesmo, a profundidade utilizada foi de 1m e área da copa subdividida em quadrates de 0,5 m de comprimento por 0,5 m de largura. Matsui (1998) também utilizou um método direto, escavando uma trincheira para retirar todas as raízes de um único indivíduo, porém sem uma área determinada.

No estudo apresentado por Mackey (1993), foi utilizado pela primeira vez o método de testemunho. Este autor utilizou um testemunho de 93 mm de diâmetro e 300 mm de profundidade. Alongi *et al.* (2003) também utilizou o método de testemunhos porém não informa o diâmetro utilizado e dizem que as profundidades variaram entre aproximadamente 80-100 cm de acordo com a profundidade das raízes. Estes autores estimaram a biomassa subterrânea em seis áreas distintas e em cada uma dela coletaram três testemunhos.

Sherman *et al.* (2003), em seu estudo realizado na República Dominicana, também utilizaram um método direto. Os autores utilizaram a metodologia de testemunhos com um volume de 0,006 m³ para cada amostrador. No entanto, em função do desenho amostral, com amostragens em 10 parcelas, com 20 testemunhos em cada parcela, obteve-se um volume total amostrado de 1,2 m³. As amostragens foram a uma profundidade máxima de 30 cm. Uma das desvantagens da utilização dos testemunhos é que os mesmos, em função do seu formato, um tubo cilíndrico, de alumínio ou pvc em geral, de paredes espessas (1 mm) e não afiadas, não conseguem penetrar com facilidade e nem cortar raízes mais grossas, com diâmetros acima de 20 mm. Assim, mesmo sendo a maior parte da biomassa radicular constituída por raízes finas, com aproximados 70% do total da biomassa radicular subterrânea (Komiyama *et al.*, 1987), isto pode se tornar um problema dependendo do local onde é realizada a amostragem.

Donato *et al.* (2011;2012), Abohassan *et al.* (2012) utilizaram o método de testemunhos para amostrar as raízes subterrâneas e estimar o estoque de carbono nesta biomassa, Donato *et al.* (2011) utilizaram testemunhos com 6,4 cm de diâmetro por 150 cm de profundidade, Donato *et al.* (2012) utilizaram testemunhos com 5,5 cm de diâmetro por 100 cm de profundidade e Abohassan *et al.* (2012) utilizaram um testemunho com 50 cm de profundidade, no entanto estes autores não informaram o diâmetro do mesmo.

1.3.4.2 Métodos indiretos

Em alguns casos estes métodos diretos são utilizados para gerar outros modelos, que podem ser alométricos (Comley e McGuinness, 2005) ou modelos que levem em consideração variáveis que representem o comportamento radicular (Komiyama *et al.* 1987, 2000; Khan *et al.*, 2009). De qualquer forma, embora práticos, os modelos podem subestimar a biomassa de raízes subterrâneas, principalmente aquela que diz respeito às raízes finas (Komiyama *et al.*, 1987).

Métodos alométricos para a estimativa de biomassa são descritos na literatura para clima tropical (Brown *et al.*, 1989), com alguns dados disponíveis para manguezais (Soares, 1997; Soares e Schaefer-Novelli, 2005; Estrada *et al.*, 2014). O método alométrico estima o peso total ou parcial de um indivíduo a partir de dimensões mensuráveis deste, no caso de indivíduos arbóreos utiliza-se comumente o DAP e a altura (Soares, 1997; Komiyama *et al.*, 2008). De acordo com Khan *et al.* (2007) existem vários métodos para estimar a biomassa com base nas relações alométricas, porém na maioria dos estudos o DAP foi tomado como única variável independente (Putz e Chan, 1986; Day *et al.*, 1987; Clough e Scott, 1989; Amarasinghe e Balasubranianiam, 1992; Mackey, 1993; Ong *et al.*, 2004). O DAP é um parâmetro de fácil medição e tanto na elaboração dos modelos alométricos para gerar estimativas de biomassa subterrânea como os utilizados para a biomassa aérea, este é o parâmetro mais utilizado. Segundo Soares e Schaeffer-Novelli (2005), vários autores utilizam esta medida como única variável independente nos modelos, no entanto, a incorporação da variável altura pode garantir maior precisão na estimativa de biomassa, como por exemplo nos estudos de Suzuki e Tagawa (1993), Tamai *et al.* (1986), Kusmana *et al.* (1992), Komiyama *et al.* (2000), Pongparn *et al.* (2002). Este é um método não destrutivo e, portanto, útil para estimar mudanças temporais na biomassa florestal por meio de medições periódicas (Komiyama *et al.*, 2008). Segundo Brown

(1997) em regiões de clima seco, em função da arquitetura da floresta, esse autor recomenda que essa estimativa seja correlacionada não só com a variável diâmetro, mas também com a altura para diminuir o erro da estimativa.

Brown (1997) afirma que o uso de regressões é mais vantajoso, pois não é necessário calcular o volume para se obter estimativas de biomassa, porém, para a aplicação dos mesmos geralmente não se tem dados de todas as classes de diâmetro, pois grande parte dos inventários florestais visam somente a parte comercial de uma floresta, sendo geralmente medidos apenas os indivíduos acima de 10 cm de diâmetro do tronco, excluindo-se as árvores menores, que podem representar até 30% da biomassa de uma floresta, o que pode ser uma desvantagem dessa metodologia. Ainda de acordo com Brown (1997), esse método basicamente envolve estimativa de biomassa por classe de diâmetro, utilizando-se o diâmetro médio por classe para representá-la e o número de árvores em cada classe.

Para biomassa aérea Soares (1997) realiza a divisão de outra forma, onde são escolhidas várias árvores que representem uma determinada classe de diâmetro. Para este autor, estas classes de diâmetro são escolhidos de acordo com o conhecimento prévio da floresta a ser estudada, e as mesmas são divididas dentro de uma variação de DAP máximo encontrado na floresta. Este procedimento é similar ao descrito por Soares *et al.* (2007), onde três procedimentos básicos devem ser tomados para a escolha da árvore:

- “a) Seleção de um número de árvores igualmente repartidas em classes ou categorias de tamanho relativo às características do povoamento (DAP, altura, classe da copa,...).*
- b) Seleção de um número de árvores, proporcionalmente às respectivas frequência nas classes ou categorias de tamanho.*
- c) Seleção de árvores baseadas em parâmetros fitossociológicos no caso de florestas tropicais naturais.”*

Embora Soares (1997) e Soares *et al.* (2007) descrevam os critérios acima citados para realização de modelos alométricos para a biomassa aérea, alguns autores, como por exemplo, Ray *et al.* (2011), utilizam indivíduos que representam a floresta estudada. Já no estudo de Komiyama *et al.* (2000), os autores não esclarecem quais foram os motivos que levaram a escolha do indivíduo utilizado nem por que apenas um único indivíduo.

Métodos indiretos são utilizados para gerar estimativas de apenas um único indivíduo, pois os mesmos devem ser aplicados a cada indivíduo e depois somada as biomassas individuais. No entanto, assim como para a utilização do mesmo na biomassa aérea, é necessário uma etapa destrutiva anteriormente com uma amostragem direta para geração dos dados que comporão o modelo.

Outros modelos utilizados nos métodos indiretos são aqueles baseados na dedução do comportamento radicular, ou seja, o modelo baseia-se em variáveis que expressam como as raízes se comportam no substrato. Estes modelos levam em consideração (variáveis), por exemplo a densidade inicial de raízes junto aos indivíduos, a taxa de extinção conforme as raízes se afastam do indivíduo de onde se originaram e a profundidade máxima alcançada pelas raízes (Komiyama *et al.* 1987, 2000; Khan *et al.*, 2007, 2009).

Na Tailândia, Komiyama *et al.* (1987), em um estudo com *R. apiculata*, utilizaram, tanto métodos diretos (escavação de trincheiras), como também elaboraram modelos baseados no comportamento radicular, utilizando os resultados obtidos a partir da escavação da trincheira, além de modelos alométricos não publicados. Na Tabela 4 é apresentado o resultado encontrado com as duas metodologias indiretas utilizadas pelo autor, incluindo o modelo alométrico não publicado e o valor total médio para a área encontrado, utilizando-se como base os resultados obtidos pela escavação da trincheira. No entanto, Komiyama *et al.* (1987) descrevem pouco sobre o modelo alométrico não publicado. Os valores encontrados baseados no modelo alométrico ficam bem abaixo do valor encontrado utilizando o modelo proposto baseado no comportamento. Esta diferença tão acentuada, embora vista com ressalvas e cuidados em função de sua origem desconhecida, só ressalta a imprecisão ou subestimativa da biomassa subterrânea destacadas por Komiyama *et al.* (1987) em relação a utilização de modelos alométricos. A relação entre a biomassa total das raízes e a biomassa logo abaixo de um indivíduo é dada pelo seguinte modelo:

$$B_{raiz} = 2\pi M_o / a^2$$

Onde: B_{raiz} é a biomassa subterrânea; M_o é a densidade de raízes próximo ao indivíduo; e a é uma constante referente a taxa de extinção de raízes em função da distância do indivíduo de origem.

Enquanto que o modelo citado por Komiyama *et al.* (1987) proposto por Ogino *et al.* (não publicado, *apud* Komiyama *et al.*, 1987) é dado pela equação abaixo para espécies do gênero *Rhizophora*, porém os autores não apresentam os valores de r^2 e “ p ” do modelo :

$$“B_{raiz} = 0,03014[D^3/(0,5522 + 0,0180D)]^{0,9320}”$$

E para espécies de outros gêneros:

$$“B_{raiz} = 0,02895[D^3/(0,4865 + 0,0268D)]^{0,8440}”$$

Onde: B_{raiz} é a biomassa subterrânea; D é o diâmetro da árvore.

Tabela 4 - Estimativa da biomassa subterrânea (t.ha⁻¹) através de diferentes métodos.

Método de Estimativa	Zona				Área total
	<i>Sonneratia</i>	ecótono	<i>Bruguiera</i>	<i>Rhizophora</i>	
modelo do autor	171,8	84,8	243,8	509,5	346,2
raízes finas pelo modelo	103,7	56,3	137,5	236,4	177,5
alometria*	13,21	3,36	38,94	138,78	78,84
trincheira					437,5

Legenda: *modelo alométrico proposto por Ogino *et al.* (não publicado, *apud* Komiyama *et al.*, 1987).

Fonte: Komiyama *et al.*, 1987.

Os métodos diretos descritos acima são mais trabalhosos em relação às estimativas feitas por métodos indiretos do ponto de vista da amostragem, no entanto, conforme Komiyama *et al.* (1987) os métodos indiretos podem subestimar a biomassa de raízes subterrâneas. Além da falta de conhecimento de origem do modelo alométrico utilizado por Komiyama *et al.* (1987), que gera incerteza na estimativa obtida por este método, como foi verificado diversos fatores ambientais além daqueles que representam a estrutura (como DAP e altura) podem influenciar a biomassa subterrânea. Ainda sobre a utilização de modelos alométricos, Persson (2002) diz que é extremamente difícil contabilizar a biomassa de raízes finas de grandes árvores através de modelos alométricos, isto porque as raízes finas variam muito suas taxas de crescimento ao longo do tempo e o possuem um crescimento que nem sempre acompanha o desenvolvimento da parte aérea. Esta alta variabilidade na taxa de crescimento pode contribuir para a alta variabilidade na biomassa em relação a parâmetros estruturais ou em relação a biomassa aérea, fazendo com que algumas interpretações possam ser mascaradas ou precipitadas.

Kusmana (1997), após a retirada do sedimento através do método de trincheiras, elaborou modelos alométricos utilizando apenas o parâmetro DAP para estimar a biomassa subterrânea na Indonésia para as espécies do gênero *Rhizophora* e *Brugueira*, e encontrou o valor total de biomassa de 30,40 t.ha⁻¹. Os modelos gerados por este autor possuíam R² de 0,973 e 0,953 para cada espécie respectivamente. Komiyama *et al.* (2000) estimaram a biomassa de raízes subterrâneas de *C. tagal*, em 87,5 t.ha⁻¹. Komiyama *et al.* (2000) utilizaram apenas uma árvore da qual extraíram as raízes por amostragem direta para elaborar seu modelo baseado na relação entre a densidade de raízes e distância a máxima alcançada em relação ao indivíduo de origem. Posteriormente utilizaram uma relação entre a biomassa das raízes de uma árvore e o quadrado do seu diâmetro a 0,3 m do solo (Braiz/D0,32) proposta por Shinozaki *et al.* (1964a, 1964b). Após ter o resultado desta proporção a mesma foi aplicada em todas as árvores de uma parcela e os valores individuais de biomassa somados.

Matsui (1998) também criou um modelo baseado em extração de raízes de 8 indivíduos de *R. stylosa* no Japão, obtendo um coeficiente de regressão alto (0,986) para um modelo que utiliza a biomassa aérea como variável. Embora o modelo tenha sido gerado por este autor no Japão, o mesmo foi aplicado para estimar a biomassa subterrânea em um estuário da Austrália, obtendo o valor de 52 t.ha⁻¹. Khan *et al.* (2009) em seu estudo realizado no Japão utilizou os parâmetros DAP, altura e densidade na quantificação de biomassa e encontrou o valor de 71,8 t.ha⁻¹. Abohassan *et al.* (2012) na Arábia Saudita definiu os parâmetros DAP, altura e densidade na quantificação de biomassa de raízes aéreas (pneumatóforos) e raízes subterrâneas, obtendo os seguintes valores respectivamente: 39,12 e 93,47 t.ha⁻¹.

Embora seja grande o número de estudos que utilizam metodologias indiretas para estimar a biomassa subterrânea, os mesmos também usam previamente uma metodologia de amostragem direta para o desenvolvimento de seus modelos. O número de estudos que utilizam métodos indiretos provavelmente está relacionado à maior facilidade para obtenção dos resultados. Estes modelos matemáticos são elaborados em laboratório, e mesmo com a necessidade de uma amostragem de campo para obter os valores a serem correlacionados para gerar o modelo matemático, esta amostragem de campo é mais simples, quando comparadas aquelas utilizadas nos métodos diretos.

1.4 Considerações finais

A biomassa subterrânea em florestas de mangue constitui uma parcela significativa da biomassa total destes sistemas. O conhecimento da biomassa nas florestas de mangue, principalmente no compartimento abaixo do solo, é fundamental, pois a biomassa subterrânea representa uma parte significativa do estoque de carbono dos manguezais. Este compartimento do estoque pode alcançar até $434,8 \text{ tC.ha}^{-1}$ como relatado em estudo na Micronésia (Donato *et al.*, 2011), e baseado nos valores encontrados na literatura (apresentada) durante este capítulo possui uma média de $75,34 \text{ tC.ha}^{-1}$.

Portanto, é de grande importância a realização de estudos para estimativa da biomassa e estoque de carbono em florestas de mangue para o melhor entendimento do ecossistema e seu papel na mitigação do efeito das mudanças ambientais globais, além de fornecer dados para tomadas de decisões no manejo dos recursos florestais. O principal componente da biomassa subterrânea são as raízes finas, alcançando cerca de 70% da biomassa total em manguezais, como observado em alguns estudos.

A maior parte dos estudos dedicados a estimar a biomassa subterrânea no mundo concentra-se na região Indo-Pacífica. No Brasil, os manguezais ocorrem ao longo de quase toda a extensão da costa, no entanto, mesmo com uma vasta cobertura deste ecossistema, são raros os estudos dedicados à compreensão da distribuição da biomassa em nossos manguezais. Os poucos estudos existentes tratam apenas de biomassa aérea, o que torna os resultados da presente tese apresentados nos capítulos a seguir de grande importância para este sistema, no Brasil e no mundo.

A amostragem direta tem sido o método mais utilizado para estimativa de biomassa subterrânea, pois permite a contabilização de todas as classes de raízes. Porém, por ser um método destrutivo, e muito trabalhoso, é considerado por alguns autores inadequado, podendo ser tendencioso. A utilização de poucas amostras, ou poucas parcelas, ou por apenas uma pequena área “representativa” da floresta estudada, não levando em consideração a heterogeneidade ambiental, pode ser uma desvantagem deste método.

Nos métodos indiretos, apesar de não haver a destruição de uma grande quantidade de material biológico, há necessidade de amostragem direta e destrutiva ainda que em uma escala reduzida, para o desenvolvimento de modelos. Por esse motivo e pela sua praticidade e

confiabilidade, os métodos indiretos tem se tornado o método preferencialmente adotado em diversos estudos.

Todavia, dependendo do método utilizado, subestimativas ou superestimativas podem ser realizadas. Isto porque alguns métodos excluem uma parcela significativa da biomassa subterrânea, por exemplo, aqueles métodos que excluem as menores classes de diâmetro das raízes (menores que 10mm) excluem, como visto em alguns estudos, mais de 50% da biomassa subterrânea. O mesmo também pode ocorrer com a utilização de modelos alométricos que também podem subestimar a biomassa subterrânea, como visto na literatura.

As equações alométricas são consideradas uma ferramenta fundamental para estimativa de biomassa, principalmente em virtude da sua alta especificidade entre as espécies e localidade. No entanto o uso destas para determinar a biomassa subterrânea podem subestimar este valor (Komiyama *et al.*, 1988). Apesar de alguns autores utilizarem equações comuns, existe uma tendência em desenvolver equações local-específicas para espécie.

Embora a dificuldade logística para a realização do estudo da biomassa subterrânea seja argumento comum para a realização destes estudos, o que contribui com o baixo número de estudos, quando comparado com aqueles que se dedicam a parte aérea, com a revisão aqui exposta fica evidente que o desenvolvimento de novos estudos deste componente da biomassa de sistemas florestais são necessários.

2 ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA SUBTERRÂNEA DE MANGUEZAIS EM GUARATIBA, RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

Resumo

As florestas de mangue possuem grande capacidade de estocar e sequestrar carbono e por este motivo tem crescido o estudos que visam a geração de estimativas da biomassa vegetal o respectivo estoque de carbono. Estas estimativas são na sua maioria realizadas para parte aérea. No entanto, o estoque de carbono na biomassa subterrânea corresponde a até cerca de 80%. Neste estudo foi utilizado o método de escavação de trincheiras para estimar o estoque de carbono nas fitofisionomias de franja e bacia das florestas de mangue da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ). Foram escavadas 5 trincheiras em cada fitofisionomia. A média de estoque de é de $105,62 \pm 22,78 \text{ tC.ha}^{-1}$ na franja e de $136,08 \pm 59,05 \text{ tC.ha}^{-1}$ na bacia, sendo que, desse valor, o estoque contido nas raízes finas com diâmetro inferior a 5 mm, respectivamente para a franja e bacia, corresponde a cerca de 80% e 87% do estoque subterrâneo total respectivamente para franja e bacia. Cerca de 50% de todo o estoque de carbono encontra-se nos primeiros 0,5 m de profundidade. Os valores máximo e mínimo de estoque de carbono foram de $239,63 \text{ tC.ha}^{-1}$ e $85,86 \text{ tC.ha}^{-1}$ na bacia e na franja respectivamente. Não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as fitofisionomias para os valores de estoque total de carbono e para todas as classes de diâmetro. No entanto o primeiro estrato, e somente este, apresentou diferença estatística significativa. A contribuição acumulada em cada estrato foi significativa para o primeiro, segundo e terceiro estrato somente.

Palavras-chave: estratificação do solo; raízes finas, mudanças climáticas

2.1 Introdução

Nos últimos anos, avanços e alertas tem sido emitidos pela comunidade científica com relação à mudança climática global, suas implicações e suas origens (IPCC, 2007; 2014). Parte dessas alterações previstas tem suas origens no aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), como o gás carbônico, óxidos de enxofre e nitrogênio (IPCC, 2014).

As florestas têm grande importância no ciclo do carbono e em função da grande biomassa vegetal são potencialmente grandes sequestradoras e estocadoras de carbono (Brown *et al*, 1992; Vieira *et al*, 2008; Guo *et al*, 2010). Estima-se que os sistemas florestais tropicais do mundo todo podem estocar até 193 PgC (Saatchi *et al*, 2011). De forma inversa, a perda de sistemas florestais implicaria na perda de potenciais estocadores e sequestradores de carbono, ou seja, perder-se-iam sistemas capazes de mitigar ou reduzir o efeito dos GEEs através do sequestro e estoque de parte dos mesmos, no caso, o carbono (Harris *et al*, 2012; Zarin *et al*, 2012). Assim, diversas formas de mitigação têm sido estudadas para a redução da concentração e/ou redução das emissões destes GEE (IPCC, 2014), entre elas estão aquelas que promovem estratégias de conservação e restauração de sistemas florestais, onde a biomassa vegetal de sistemas florestais como sumidouros e sequestradores de carbono (Cenamo *et al*, 2010; Soto-Pinto *et al*, 2010). As estimativas da biomassa florestal de vários sistemas são realizadas com diversos objetivos em função da sua importância, como descrito acima. Alguns objetivos como aqueles para fins energéticos, ciclagem de nutrientes e para estudos de estoque e sequestro de carbono são os mais comuns e estes estudos são de grande importância para a tomada de decisões no manejo dos recursos florestais (Silveira *et al*, 2008). Nesse contexto, inserem-se os estudos da biomassa de florestas de mangue, visando a contabilização dos reservatórios de carbono nesses sistemas florestais costeiros.

As florestas de mangue, que possuem uma distribuição tropical e subtropical (Tomilson, 1986; Schaeffer-Novelli *et al*, 1990) se inserem dentro dos grupos de sistemas florestais tropicais e, assim como as descritas acima possuem um grande potencial como estocadoras e sequestradoras de carbono atmosférico (Siikamaki *et al*, 2012). Mesmo ocupando uma área inferior a 1% de toda a cobertura florestal tropical do globo (Giri *et al*, 2011), estas florestas podem estocar globalmente de 4,03 PgC (Twilley *et al.*, 1992), 13,1 PgC (Alongi, 2014) até 20 PgC orgânico (Donato *et al*, 2011). Considerando a área de 137.760.000 ha (Giri *et al*, 2011) e o estoque de 20PgC orgânico de Donato *et al.* (2011), o estoque de carbono nas florestas de

mangue é de 145,18 t.ha⁻¹. Comparado com as estimativas apresentadas por Gibbs *et al.* (2007) para outros sistemas florestais, os manguezais apresentam valores superiores a florestas tropicais estacionais, decíduais e florestas temperadas. Tanto as estimativas de estoque, quanto às de emissões de carbono em função da preservação ou da perda deste sistema ainda possuem certo grau de incerteza em função da ausência de informações, em grande escala ou em determinadas regiões, das taxas de sequestro e de estoque de carbono nestas florestas (Donato *et al.*, 2011).

De acordo com Donato *et al.* (2011), o carbono está estocado, em sua maior parte, no sedimento, na biomassa de raízes subterrâneas e na biomassa vegetal aérea em ordem crescente. Com relação à biomassa, uma grande parte desta está localizada na parte aérea (Khan *et al.*, 2007, 2009; Donato *et al.*, 2011; Kauffman *et al.*, 2011), no entanto, esta proporção, as vezes, pode ser invertida e uma grande parte desta biomassa pode estar acumulada nas raízes. Utilizando dados publicados por Tamai *et al.* (1986) e Komiyama *et al.* (1987) para a mesma região na Tailândia, pode ser verificado que a parte subterrânea da biomassa representada pelas raízes corresponde a 65% da biomassa total da floresta. Este mesmo padrão também é descrito por outros autores, como Comley e McGuinness (2005) e Abohassan *et al.* (2012).

As estimativas de biomassa de raízes subterrâneas existentes hoje estão concentradas principalmente na região Indo-Pacífica (Komiyama *et al.*, 1987, 2005; Khan *et al.*, 2007, 2009; Kauffman *et al.*, 2011; Donato *et al.*, 2011, 2012; Abohassan *et al.*, 2012), enquanto que para o Atlântico existem apenas os estudos de Sherman *et al.* (2003), Castañeda-Moya *et al.* (2011) e Zhila *et al.* (2014).

No Brasil, os manguezais ocorrem ao longo de quase toda a extensão da costa brasileira (Schaeffer-Novelli *et al.*, 1990), se estendem ao longo de 6.786 km (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2000), e ocupando uma área estimada entre 962.683 (Giri *et al.*, 2011), 1.071.083,74 ha (Magris e Barreto, 2010) e 1.300.000 ha (Spalding *et al.*, 2010). Segundo estimativas recentes o Brasil é o segundo país em área total ocupada pelos manguezais e aqui é encontrada a maior área de manguezal contínua do mundo, com 651.600 ha de floresta continua (Souza-Filho, 2005), localizada entre os estados do Maranhão e Pará.

No entanto, apesar de grande extensão e área que estas florestas ocupam no Brasil, são poucos os estudos sobre o estoque de carbono na biomassa e estes têm somente como objetivo a o estoque na parte aérea do sistema (e.g. Estrada, 2013; Fernandez, 2014), sendo que são inexistentes aqueles que estudam o estoque de carbono na biomassa subterrânea. Como demonstrado na revisão de Komiyama *et al.* (2008), e no primeiro capítulo desta tese o número

de estudos que fornecem dados para a parte da biomassa subterrânea é muito menor do que aqueles para a biomassa aérea, demonstrando que isso também é uma tendência para as florestas de mangue no mundo.

2.1.1 Objetivos

Este capítulo tem como objetivo principal quantificar o estoque de carbono na biomassa total de raízes subterrâneas nas florestas de mangue da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (RBEG).

Para tanto, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- 1) avaliar a distribuição do estoque de carbono na biomassa de raízes subterrâneas em diferentes fitofisionomias do manguezal;
- 2) analisar a distribuição vertical do estoque de carbono na biomassa de raízes nas diferentes fitofisionomias do manguezal;
- 3) verificar a contribuição de diferentes classes de diâmetro de raízes para o estoque de carbono na biomassa total subterrânea;

2.2 **Métodos**

2.2.1 Amostragem e tratamento das amostras

Para estimar a biomassa de raízes subterrâneas foi utilizada o método descrito em linhas gerais por Komiyama *et al.* (1987, 2000), onde é realizada a escavação de um determinado volume, retirado o sedimento, depois é feita a separação manual das raízes do sedimento e depois as raízes são triadas por classes de diâmetro. Esta metodologia se baseia na coleta direta da

biomassa através de método destrutivo, ou seja, retirada do material *in situ* para realização da medição de peso seco posteriormente em laboratório.

Na área de estudo, localizada junto ao rio Piracão no interior da RBEG, foram estabelecidas 5 réplicas em duas fitofisionomias (franja e bacia) onde foram escavadas as 10 trincheiras. As trincheiras são delimitadas em cada uma das duas fitofisionomias e são aqui designadas como: F1, F2, F3, F4 e F5 na franja, B1, B2, B3, B4 e B5 na bacia. Assim, foram cavadas 10 trincheiras com 1 m de largura, 1 m de comprimento e 1 metro de profundidade, totalizando 1 m³. Para a realização da escavação foi delimitada primeiramente uma área de 1m², que corresponde aos limites da trincheira (comprimento e largura), marcados com auxílio de uma bússola, para delimitar exatamente um polígono com ângulos retos formando um quadrado e logo após cada vértice é marcado com um cano de pvc. Em seguida, a trincheira foi cavada em estratos de 10 cm, até atingir 1 metro de profundidade. Cada estrato foi numerado, para melhor identificação e organização dos dados de I a X (Figuras 2 e 3) e cada estrato foi separado em campo.

Após a retirada do sedimento de cada estrato, o mesmo foi lavado ainda no campo, para retirada do excesso de sedimento e as raízes foram separadas manualmente do resto de sedimento e outros compostos orgânicos com ajuda de peneiras com malha de 1 mm (Figuras 4 e 5).

O material da coleta foi triado e levado para o laboratório do NEMA/UERJ onde as raízes foram separadas nas classes de tamanho (diâmetro), sendo novamente lavadas em água corrente em peneiras com malhas de 0,5mm e 0,25mm para retirada total do sedimento, armazenadas e secas em estufa a 70° C. Cada classe foi pesada separadamente até obter a constância do peso para obtenção do peso seco.

As classes de diâmetro estabelecidas neste estudo foram: menores que 5 mm; entre 5 e 10 mm; entre 10 e 20 mm; entre 20 e 50 mm e maiores que 50 mm. Os estudos realizados até o momento utilizam classes de diâmetros semelhantes (Komiyama *et al.*, 1987; Pongparn *et al.* 2002; Tamooh *et al.*, 2008), alguns estudos utilizam a medida de 2 mm como limite da classe inferior (Komiyama *et al.*, 1987), no entanto a precisão para a realização da medição de diâmetros abaixo de 5 mm fica comprometida e por isso optou-se no presente estudo por utilizar como limite da menor classe 5 mm.

Figura 2 - Escavação do primeiro estrato da primeira trincheira.



Fonte: O autor, 2015.

Figura 3 - Escavação dos estratos finais da primeira trincheira.



Legenda: (A) - escavação dos quatro grids pertencentes ao 8º estrato entre a profundidade de 0,7 e 0,8 m; (B) - escavação dos quatro grids pertencentes ao 9º estrato entre a profundidade de 0,8 e 0,9 m e; (C) - escavação dos quatro grids pertencentes ao 10º estrato entre a profundidade de 0,9 e 1,0 m; (D) - finalização da escavação da primeira trincheira medida exatamente com 1 m de profundidade com a aferição de uma régua.

Fonte: O autor, 2015.

Figura 4 - Preparação e retirada do sedimento coletado.



Legenda: (A) - separação manual do excesso de sedimento das raízes ; (B) - refinamento da separação das raízes mais finas em uma peneira com malha de 1 mm.

Fonte: O autor, 2015.

Figura 5 - Raízes lavadas e separadas do sedimento, embaladas para transporte até o laboratório para término da lavagem, triagem e secagem em estufa.



Fonte: O autor, 2015.

2.2.2 Caracterização estrutural

O método seguido para a caracterização da estrutura vegetal é apresentado, de forma geral, por Cintrón & Schaeffer-Novelli (1984) e Schaeffer-Novelli & Cintrón (1986). Em cada estação são delimitadas parcelas, com área variando de acordo com a metodologia proposta por Estrada (2009), levando em consideração a densidade da floresta, de forma a ser amostrado um número representativo de indivíduos e a homogeneidade da mesma em termos de características estruturais (composição específica e desenvolvimento estrutural dos indivíduos).

Todos os indivíduos são identificados a nível específico e são medidas a altura dos indivíduos vivos e o DAP (diâmetro à altura do peito - à 1,30 m do solo) de todos os troncos, além de ser descrita a condição (vivo ou morto) de cada um. Para cada parcela são calculados os parâmetros fitossociológicos: altura média, DAP médio e área basal. A altura média é calculada através da média aritmética das alturas observadas. A área basal representa a área ocupada pelos troncos dos indivíduos por área de floresta,. Posteriormente é calculada a contribuição relativa em área basal viva e morta de cada espécie por classes de DAP (sendo as classes: menor que 2,5 cm; entre 2,5 e 10,0 cm; maior que 10,0 cm). Para calcular a área basal é utilizada a fórmula descrita abaixo, onde é estabelecida a ocupação do tronco de um indivíduo em m² dentro de uma área de um hectare:

$$g = 0,00007854 (\text{DAP})^2$$

onde:

g = área basal do tronco (em m²)

DAP = diâmetro à altura do peito (em cm)

O valor de 0,00007854 é igual ao valor de Pi (π) divididos por 40000, para fazer a conversão do valor de área basal para m².ha⁻¹

O DAP médio é uma medida estrutural que representa o DAP da árvore de área basal média, ou seja, é o DAP extraído da média da área basal, que diferencia-se da média aritmética dos diâmetros individuais. A fórmula do DAP médio é dada abaixo:

$$\text{DAP médio} = [(G) \cdot 12732,39/n]^{1/2}$$

onde:

G= área basal total viva da parcela (somatório das áreas basais dos troncos vivos);

n= número de troncos vivos amostrados na parcela.

São realizadas ainda análises de relação entre DAP médio e a média da altura, e troncos por indivíduo para analisar possíveis diferenças na arquitetura da floresta.

Também é realizada uma descrição da distribuição em classes de diâmetros em cada parcela. Para isso, os diâmetros dos troncos são agrupados em classes com intervalos de 2 cm para as parcelas de franja e 1 cm para as parcelas de transição, isso em função da redução do DAP em função da variação estrutural (Estrada, 2009). Assim, obtêm-se uma curva de distribuição diamétrica.

2.2.3 Determinação do estoque de carbono

Para calcular o carbono estocado na biomassa de raízes subterrâneas, primeiro foi calculada a contribuição de cada espécie, com base na dominância em área basal. Em seguida foi aplicada a taxa de conversão de biomassa seca em carbono proposta de estudos anteriores realizados na mesma floresta de mangue (Rodrigues et al., 2015): 42,6% para *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana* e 40,0% para *Rhizophora mangle*, considerando-se a contribuição de cada espécie na floresta. O estoque de carbono na biomassa aérea foi calculado utilizando a metodologia proposta por Estrada (2013), onde primeiro é feito uma caracterização estrutural da área, em seguida as medidas de DAP e altura obtidas são utilizadas para calcular a biomassa aérea através da aplicação destas medidas em modelos de equações alométricas apresentadas por Soares e Schaeffer-Novelli (2005) para *L. racemosa* e *R. magle* e por Estrada (2013) para *A. schaueriana*. Em seguida a biomassa aérea foi convertida em estoque de carbono, utilizando o teor de carbono para espécies de mangue de 0,45 gC.g⁻¹ de massa seca apresentado por Twilley et al (1992).

Para calcular o estoque de carbono na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba, os valores encontrados para franja e bacia foram multiplicados pela área total ocupada por estas duas fitofisionomias de acordo com o mapeamento da área realizado por Almeida *et al* (2014) na referida unidade de conservação, cujas áreas de floresta correspondem a 1.881 há, sendo 304 há de florestas de franja e 1.577 há de florestas de bacia e transição . Embora Estrada *et al* (2013) tenham demonstrado a existência de três tipos distintos de fitofisionomias: franja, bacia e transição para planície hipersalina, neste estudo as florestas de transição em função do seu reduzido desenvolvimento estrutural e de seu estágio sucessional menos avançado, foram incorporadas como florestas de bacia.

Para a apresentação dos valores de carbono de outros estudos foram utilizados os valores apresentados pelos próprios autores, ou quando os valores não foram apresentados, foi utilizado o valor de 40,8% encontrado por Khan *et al.* (2007). Embora outros autores apresentem valores maiores, como 45% de Twilley *et al.* (1992), ou próximos ao apresentado por Khan *et al.* (2007), como 41,5% Bouillon *et al.* (2008), nesta análise optou-se por usar um valor não só específico para raízes como o menor descrito na literatura, com uma abordagem mais conservadora, uma vez que Khan *et al.* (2007) mostram que existem diferenças de valores entre espécies, profundidades e diferentes tecidos da raiz. Assim, utilizando um valor de teor de carbono orgânico conservadoramente mais baixo, a comparação entre os valores de estoques de carbono também serão realizadas de uma maneira mais conservadora.

2.2.4 Testes estatísticos

Para atender aos objetivos deste estudo, foram realizados testes estatísticos que seguem as recomendações propostas por Zar (1996). Em função do baixo número amostral e a não conformidade com a distribuição normal de todas as variáveis optou-se pela utilização testes não paramétricos ainda que estes possuíssem um poder menor para detectar as diferenças.

Assim foi utilizado o Teste U de Mann-Whitney para realizar as comparações dos valores de estoque entre os tipos fisiográficos, dos valores de estoque de cada estrato entre os tipos fisiográficos e dos valores de estoque em cada classe de diâmetro da biomassa de raízes subterrâneas. Utilizando para o teste, como nível descritivo do teste 5% ($p < 0,05$), também foi

realizado uma comparação da concentração acumulada do estoque nos estratos entre as fitofisionomias. Para a realização do teste U foi utilizado o pacote estatístico do programa *Statistica 7.0*®.

2.3 Resultados e discussão

A média de estoque de carbono na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba é de $105,62 \pm 22,78 \text{ tC.ha}^{-1}$ na franja e de $136,08 \pm 59,05 \text{ tC.ha}^{-1}$ na bacia, os valores de estoque de carbono de cada classe de diâmetro por estrato de cada trincheira são apresentados no Anexo I deste capítulo. Sendo que, desse valor, $85,34 \pm 23,23 \text{ tC.ha}^{-1}$ e $119,07 \pm 55,85 \text{ tC.ha}^{-1}$ correspondem ao estoque contido nas raízes finas com diâmetro inferior a 5 mm, respectivamente, para a franja e bacia, ou seja, este compartimento corresponde a cerca de 80% e 87% do estoque subterrâneo total respectivamente para franja e bacia. Os valores máximo e mínimo de estoque de carbono foram de $239,63 \text{ tC.ha}^{-1}$ e $85,86 \text{ tC.ha}^{-1}$ na bacia e na franja, respectivamente.

O estoque de carbono, utilizando os dados compilados no capítulo I na biomassa subterrânea, em florestas de mangue, na faixa latitudinal entre 10° e 25° varia entre $7,14 \text{ tC.ha}^{-1}$ (Ray *et al*, 2011) e $123,00 \text{ tC.ha}^{-1}$ (Matsui, 1998) onde a média desta faixa foi de $43,49 \text{ tC.ha}^{-1}$, o que mostra que o presente estudo apresenta uma média do estoque de carbono de $120,96 \text{ tC.ha}^{-1}$ dentro da faixa de variação. No entanto se observamos somente a média da bacia esta foi superior ao maior valor encontrado para esta faixa latitudinal. Se reduzirmos a amplitude desta faixa para as latitudes 15° e 25° para diminuirmos as distâncias da latitude onde se encontra a área de estudo, de forma que esta área de estudo ainda permaneça nesta amplitude, a variação do estoque de carbono fica entre $7,14 \text{ tC.ha}^{-1}$ (Ray *et al*, 2011) e aproximadamente $100,00 \text{ tC.ha}^{-1}$ (Alongi *et al*, 2003) e a média da faixa foi de $45,10 \text{ tC.ha}^{-1}$. Neste caso tanto a média geral de estoque carbono de Guaratiba quanto as médias da franja e da bacia são superiores às médias das faixas latitudinais e superiores aos maiores valores de cada uma das amplitudes.

O estoque de carbono na biomassa subterrânea amostrado neste estudo foi superior à relatada em outros nos estudos em florestas de mangue conduzidos por Khan *et al*. (2007; 2009), Donato *et al*. (2011), Kauffman *et al*. (2011) e Donato *et al*. (2012). Porém, outros estudos apresentam valores de estoque de carbono muito superiores aos aqui encontrados tanto para a

média geral, quanto para as médias da franja e da bacia, como por exemplo os estudos realizados por Komiyama *et al* (1987), Donato *et al* (2011), Kauffman *et al.* (2011) e Donato *et al* (2012). Todavia, todos estes estudos referem-se a florestas de mangue localizadas em baixas latitudes (inferiores a 10°). A média geral do estoque de carbono na biomassa subterrânea encontrada na literatura, conforme foi apresentado no Capítulo 1, foi de 75,6 tC.ha⁻¹ bem abaixo das médias das florestas de Guaratiba. Esta tendência de aumento do estoque de carbono nas latitudes mais baixas e diminuição nas latitudes mais altas, segue o padrão observado para o estoque de carbono na biomassa aérea como descrito por Twilley *et al* (1992) e Estrada (2013).

No entanto é muito complicado estabelecer comparações entre diferentes florestas em função da grande variedade de fatores que influenciam o estoque de carbono na biomassa subterrânea. São diversos os fatores que podem regular a biomassa subterrânea e, conseqüentemente o estoque de carbono em uma floresta de mangue, como por exemplo a posição da área amostrada em relação ao corpo hídrico, ou seja, posicionamento em uma determinada fitofisionomia (Sherman *et al.*, 2003) e a posição em relação ao continente, se localizado em ambientes estuarinos mais abrigados ou localizados em áreas mais abertas de frente para o oceano (Donato *et al.*, 2011).

As raízes com diâmetros menores ou igual a 5 mm foram encontradas ao longo de todo o perfil estratigráfico do sedimento. Estas, apresentaram contribuição acima de 60% e 80% do estoque de carbono em cada estrato, respectivamente para franja e bacia, (Figuras 6 e 7). Entretanto em ambas as fitofisionomias a contribuição total desta classe de diâmetro no estoque de carbono é de mais de 80%. A partir de 0,4 m de profundidade na franja, estas raízes finas correspondem a mais de 90% de todo o estoque de carbono. Na bacia elas também alcançam esta contribuição, porém a partir de 0,5 m. Estas raízes finas são encontradas em todos os estratos, enquanto que as raízes mais grossas, com diâmetro superior a 50 mm, só foram encontradas até a profundidade máxima de 0,7 metros na franja e 0,5 m na bacia. Os demais compartimentos são encontrados em todos os estratos, porém a sua contribuição também é reduzida conforme é aumentada a profundidade.

Segundo Tabuchi *et al.* (1983) as raízes finas contribuem com até 70% da biomassa total de raízes subterrâneas, no entanto outros autores encontraram relações menores que esta, com aproximadamente 2,2% (Komiyama *et al.*, 2000), de 10 a 18% (Castañeda-Moya *et al.*, 2011) e entre 46 e 60% (Komiyama *et al.*, 1987). No presente estudo essa proporção foi superior, com aproximadamente 80%. Nos primeiro cinco estratos (até 0,5 m de profundidade) as raízes com

diâmetro menor ou igual a 5 mm representam cerca de 60%, a partir de 0,5 m de profundidade, esta proporção alcança mais de 90% da biomassa do estrato (Figura 6 e 7).

Conforme podemos conferir na Figura 8 e na Tabela 4, não houve diferença significativa verificada pelo teste U de Mann-Whitney no estoque de carbono entre franja e bacia quando comparadas as diferentes classes de diâmetro das raízes e no estoque total.

Os pneumatófros, embora não sejam raízes totalmente subterrâneas, também foram considerados nesse estudo, tendo em vista que são comumente negligenciados nas estimativas de estoque de carbono na biomassa aérea e possuem comumente uma parte subterrânea. Este compartimento, só é encontrado no primeiro estrato e com uma contribuição menor que 1% no estoque de carbono é o compartimento com menor expressividade.

Com relação ao perfil estratigráfico do estoque de carbono um pouco mais de 50% de todo estoque na franja se concentra nos primeiros 0,4 m de profundidade, enquanto que na bacia esta contribuição é atingida com 0,3 m de profundidade. No entanto, apesar de existir uma diferença em relação à concentração do estoque na franja e na bacia, apenas o primeiro estrato apresenta diferença estatística significativa, como podemos ver nas Figuras 9 e 10 e na Tabela 5. Nos demais estratos não foram verificadas nenhuma diferença estatística significativa. A variação no estoque entre as trincheiras e as fitofisionomias é muito maior nos primeiros estratos e tende a diminuir com o aumento da profundidade.

A arquitetura peculiar das raízes de mangue descrita por Tomilson (1986) pode ajudar a explicar esta variação das classes de diâmetro ao longo do perfil estratigráfico. Este autor descreve uma arquitetura onde as primeiras ramificações e as raízes mais grossas são encontradas nas primeiras camadas do solo, funcionando como pontos de ancoragem e estabilização do indivíduo e nas camadas inferiores as raízes finas, responsáveis pela absorção de água e nutriente.

Uma das principais funções das raízes grossas é a de prover sustentação e servir como ancoradouro para as árvores de mangue (Tomilson, 1986) ou de uma forma geral para todas as florestas (Persson, 2002), e quanto maior o seu porte, maior deve ser a sustentação das mesmas. Por outro lado, as raízes finas representam uma parte importante para absorção de água e nutriente (Persson, 2002). Também devemos levar em consideração a condição salina do sedimento em que estas florestas se encontram. Normalmente a salinidade é um fator que inibe o crescimento das raízes e também da parte aérea nos vegetais, no entanto como as raízes são

menos sensíveis à salinidade, a parte aérea tende a ser mais afetada do que estas (Bernstein e Kafkafi, 2002).

Plantas halófitas, no entanto, podem ter uma reação contrária, de inibição do crescimento de raízes quando a salinidade é reduzida (Bernstein e Kafkafi, 2002). A salinidade também pode reduzir o alongamento das raízes, reduzindo por diversos mecanismos as zonas de alongamento da raiz, fazendo com que a profundidade das raízes possa diminuir, porém podem induzir o crescimento de raízes laterais, mais próximas a superfície (Bernstein e Kafkafi, 2002). Isto pode explicar porque a concentração de estoque de carbono nas camadas superiores (até 0,3 m de profundidade) nas florestas de bacia é maior ($p < 0,05$) que nas florestas de franja (Tabela 6). Esta pode ser uma das razões para que, embora não haja diferença de estoque na biomassa subterrânea entre a franja e a bacia, exista uma diferença na concentração numa parte mais superior do perfil estratigráfico, onde o estoque é maior no primeiro 0,1 m de profundidade nas florestas de bacia do que nas florestas de franja.

Estrada *et al* (2013) mostra que as florestas de franja deste sistema são mais desenvolvidas do que as das bacias e além disso, esta diferença no desenvolvimento estrutural está associado a uma diferença de estágio sucessional e consequentemente na idade das florestas. Estes autores também mostram que existe uma diferença na microtopografia da região, e consequentemente na frequência de inundação pelas marés, o que torna as áreas de franja mais frequentemente lavadas e consequentemente o seu sedimento mais oxigenado do que a bacia. O contrário, no entanto é mostrado por estes autores para a salinidade, que tende a ser menor na franja do que na bacia. Patterson *et al* (1993) mostra que variações na microtopografia também podem ocasionar variações no potencial redox e concentração de sulfeto enxofre. Já Getter *et al.* (1984, *apud* Soares, 1997) afirmam que existe uma maior quantidade de raízes nas florestas de bacia onde a frequência de inundação das marés é menor do que na franja.

Abohassan *et al* (2012), embora tenha trabalhado com uma profundidade máxima de 0,5 m, também encontrou uma maior contribuição da biomassa nas raízes subterrâneas (e consequentemente no estoque de carbono nesta) nos primeiros 0,3 m com até cerca de 98% e no primeiro 0,1 m até cerca de 83%. Se considerarmos, para os resultados obtidos em Guaratiba, a mesma profundidade para estimarmos a biomassa das raízes subterrâneas e seu estoque, o padrão encontrado por aqueles autores são superiores ao observado nas florestas de Guaratiba. Neste estudo, nas florestas de bacia, considerando somente 0,3 m de profundidade cerca de 50% da biomassa estaria acumulada nesta profundidade e nas florestas de franja cerca de 40 %.

Embora haja concentrações distintas entre este estudo e o apresentado por Abohassan *et al* (2012), o estoque na biomassa subterrânea estimado para Guaratiba foi muito superior, esses autores encontraram um estoque de carbono variando de 15,96 tC.ha⁻¹ a 39,33 tC.ha⁻¹, enquanto que aqui a biomassa correspondente a este estrato variou de 105,85 tC.ha⁻¹ a 288,07 tC.ha⁻¹. Esta superioridade pode estar associada ao método adotado, pois embora Abohassan *et al* (2012) tenha realizado seu estudo em latitudes próximas (20° e 24°), o mesmo excluiu de sua amostragem todas as raízes com mais de 2 mm de diâmetro. Porém, mesmo levando em consideração somente as raízes mais finas deste estudo, a biomassa deste estudo ainda é superior àquela apresentada por Abohassan *et al* (2012), com médias para franja e bacia de 85,56 tC.ha⁻¹ e 119,07 tC.ha⁻¹ respectivamente. Os valores encontrados neste estudo também são comparados com os valores dos outros estudos existentes na tabela I do Capítulo 1.

Khan *et al* (2007), Castañeda-Moya *et al* (2011) e Donato *et al* (2011) também encontraram uma maior concentração do estoque de carbono na biomassa subterrânea nos primeiros 0,5 m de profundidade.

Utilizando a área mapeada por Almeida *et al* (2014) de 1881 ha de florestas de mangue para Guaratiba e multiplicando esta área pela média de estoque encontrada neste estudo (120,96 tC.ha⁻¹), uma vez que não existe diferença significativa entre as médias de estoque das fitofisionomias, chegamos a um valor total de estoque de carbono, na biomassa subterrânea para os manguezais de Guaratiba referida unidade de conservação, de 227.525 tC, dos quais 13% correspondem ao estoque de carbono na franja e 87% na bacia e transição.

Estrada *et al*. (2015) apresentaram os valores de estoque de carbono na biomassa aérea para esta região e assim como o encontrado na biomassa de raízes subterrâneas, o estoque total para a área, na biomassa aérea, também foi maior na fitofisionomia de bacia em relação à franja. Esse padrão se deve a maior área ocupada por esta fitofisionomia, pois as médias de estoque por hectare nesta fitofisionomia e na transição foram menores que na franja. Aqui, embora o valor da média do estoque de carbono na bacia seja menor do que da franja, não houve diferença estatística significativa. Estrada (2013) apresenta como justificativa para a maior média em tC.ha⁻¹ para a franja, seguida da bacia e transição, o desenvolvimento estrutural dessas fitofisionomias. Estrada *et al*. (2013) mostra que o desenvolvimento estrutural destas fitofisionomias é maior na franja, seguido da bacia e posteriormente pela transição.

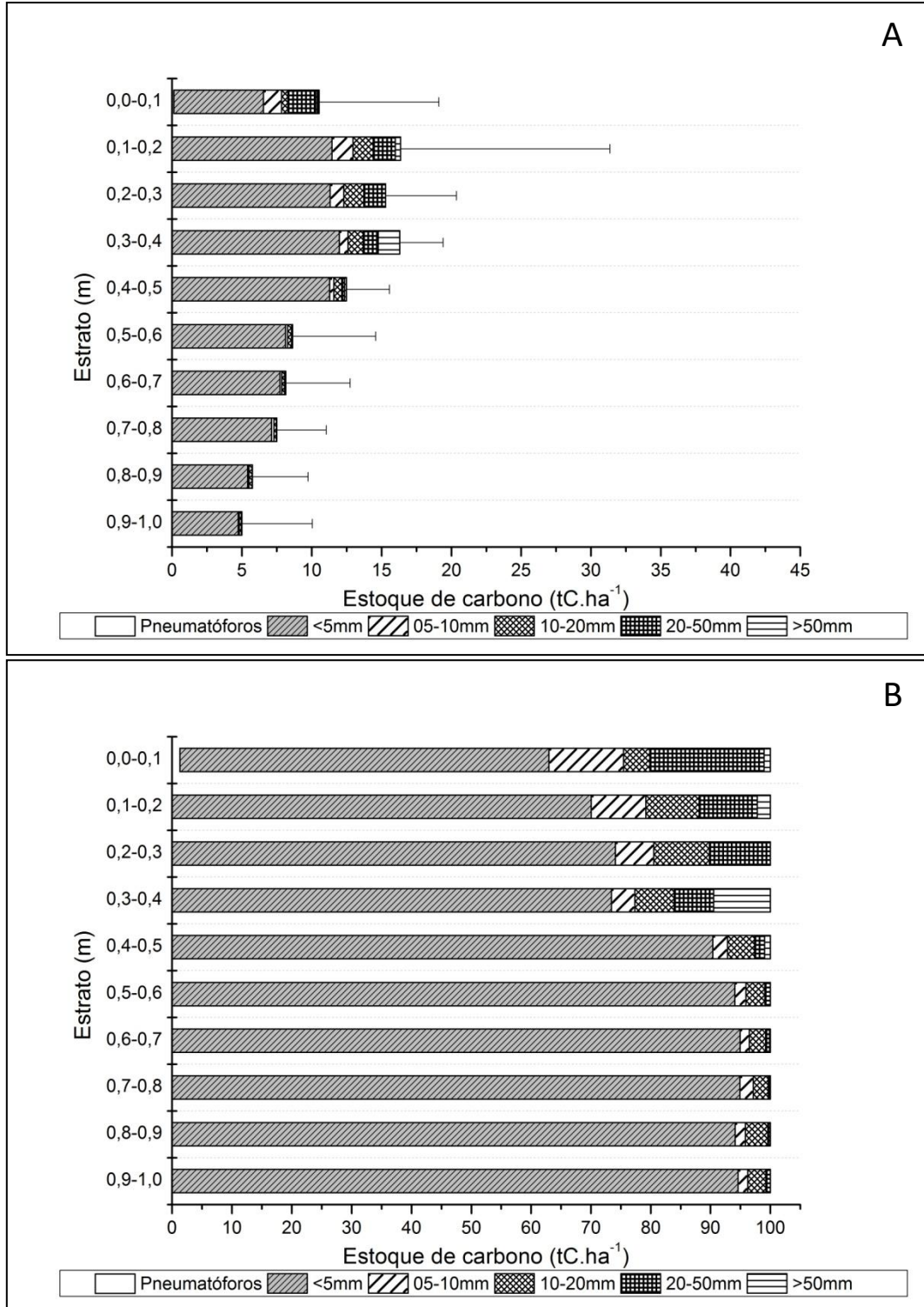
Ao observarmos a contribuição de cada classe de diâmetro em cada fitofisionomia, nota-se que há, em relação às raízes finas uma contribuição maior na bacia do que na franja.

Assim, aliando todas estas características, pode se explicar esta diferença nos valores de estoque de carbono da franja para a bacia na primeira camada (até 0,1 m) de profundidade do sedimento. Pois as florestas de franja possuem características que as impelem a investir no crescimento de raízes mais grossas, tais como estabilização e aumento da resistência à tração. Kauffman *et al* (2011) também encontrou um aumento do estoque de carbono nas florestas de bacia em relação as florestas de franja.

Segundo Persson (2002), é extremamente difícil estabelecer uma relação entre a biomassa de raízes finas de grandes árvores e suas medidas, isto porque as raízes finas variam muito suas taxas de crescimento ao longo do tempo. Esta alta variabilidade na taxa de crescimento pode contribuir para a alta variabilidade na biomassa em relação a parâmetros estruturais ou em relação à biomassa aérea, fazendo com que algumas interpretações possam ser mascaradas ou precipitadas. A variação das taxas de crescimento das raízes, que possuem padrões aleatórios e que nem sempre estão relacionados ao desenvolvimento estrutural das florestas de uma maneira geral, podem explicar porque não existe de diferença dos valores de estoque de carbono entre as fitofisionomias.

Com os valores apresentados por Estrada *et al.* (2014), para estoque de carbono na biomassa aérea, com média de $63,06 \pm 35,90 \text{ tC.ha}^{-1}$ e a área de floresta de mangue apresentada por Almeida *et al* (2014) de 1.881 ha, o estoque total de carbono na biomassa vegetal nos manguezais de Guaratiba, somando a parte aérea e subterrânea é de 349.790 tC, dos quais pouco mais de 65% correspondem ao estoque na biomassa subterrânea, o que dá uma razão de 1,86 do estoque na biomassa subterrânea em relação ao estoque na biomassa aérea. No entanto, cabe ressaltar que Estrada *et al.* (2014) utilizaram também valores específico para as florestas de transição e estes valores foram menores do que os valores de franja e bacia, ao passo que, neste estudo, as florestas de transição foram tratadas juntamente com as florestas de bacia. Na literatura esta razão varia de 5,11 (Abohassan *et al.*, 2012) até 0,2 (Zhila *et al.* 2014). Donato *et al* (2011) mostraram que a contribuição do estoque de carbono, correspondente aquele na parte subterrânea variou de 49 a 98% incluindo o carbono estocado no sedimento. Conforme o observado no Capítulo 1, a contribuição global, de uma forma geral, da biomassa subterrânea no estoque de carbono em florestas de mangue é de aproximadamente 50%.

Figura 6 - Estoque de carbono nas florestas de franja.



Legenda: (A) - Valor médio do estoque de carbono (tC.ha⁻¹) para cada classe de diâmetro de raiz em cada estrato; (B) - contribuição (%) no estoque de carbono de cada classe de diâmetro de raiz em cada estrato.

Figura 7 - Estoque de carbono nas florestas de bacia.

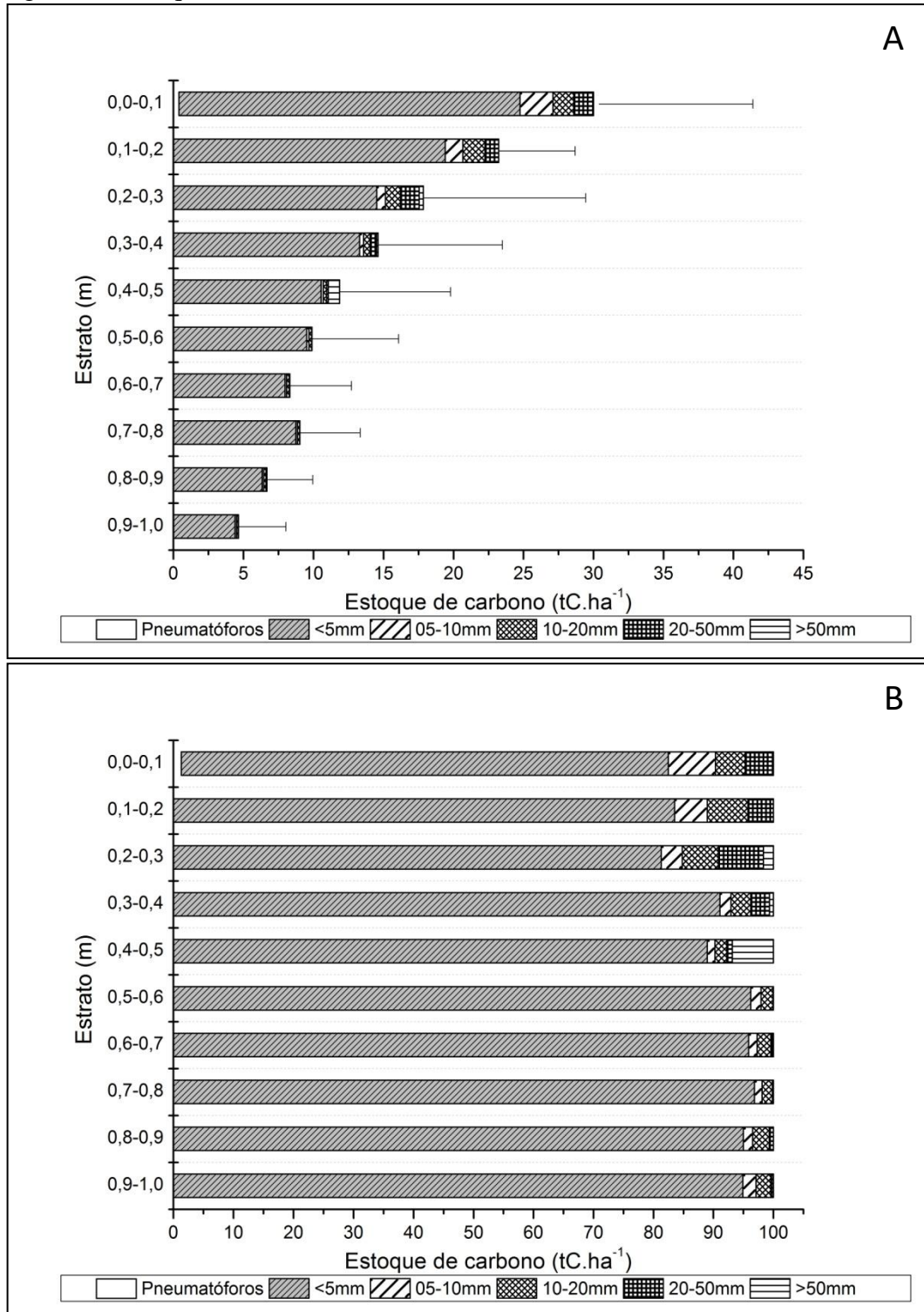
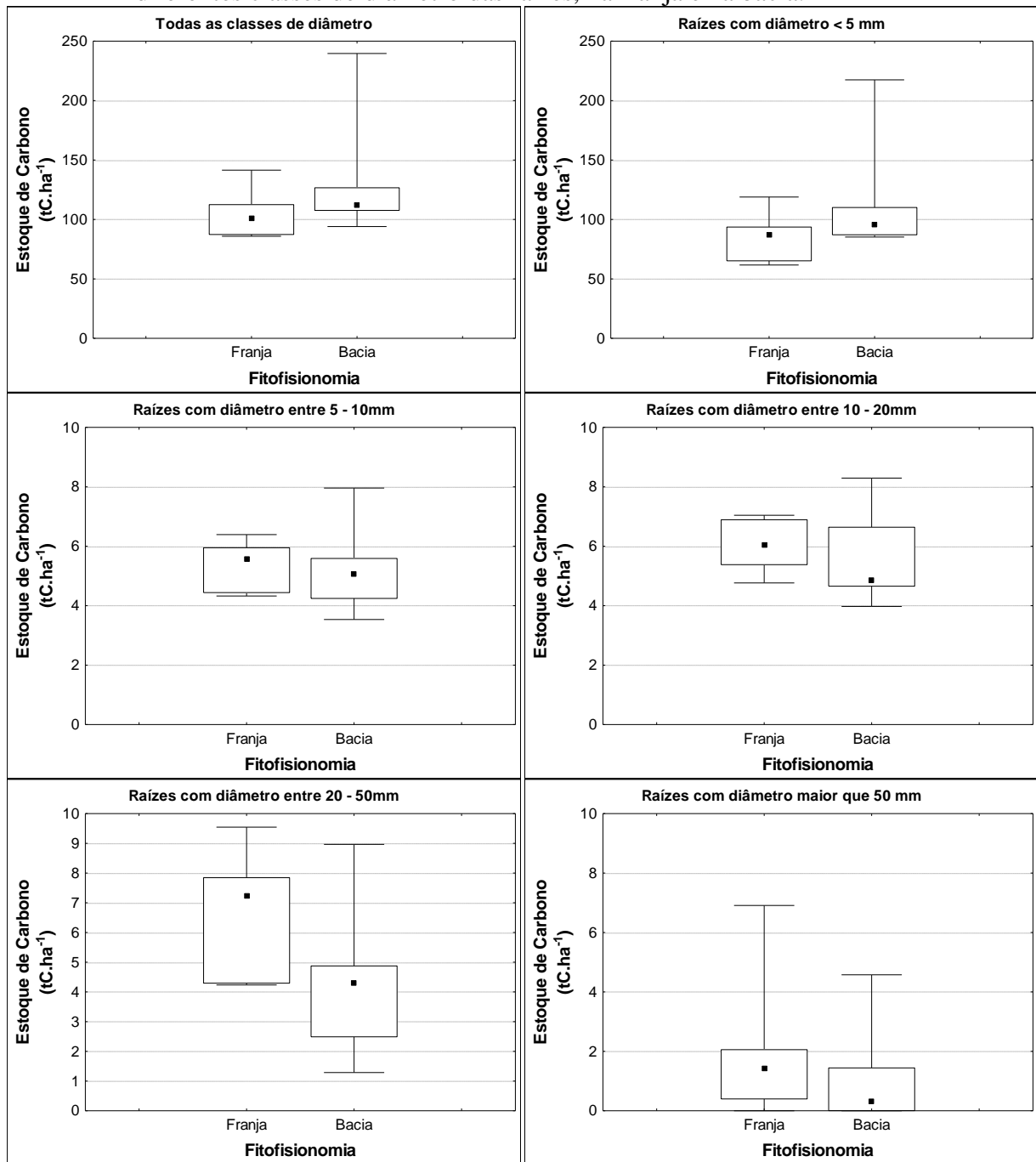
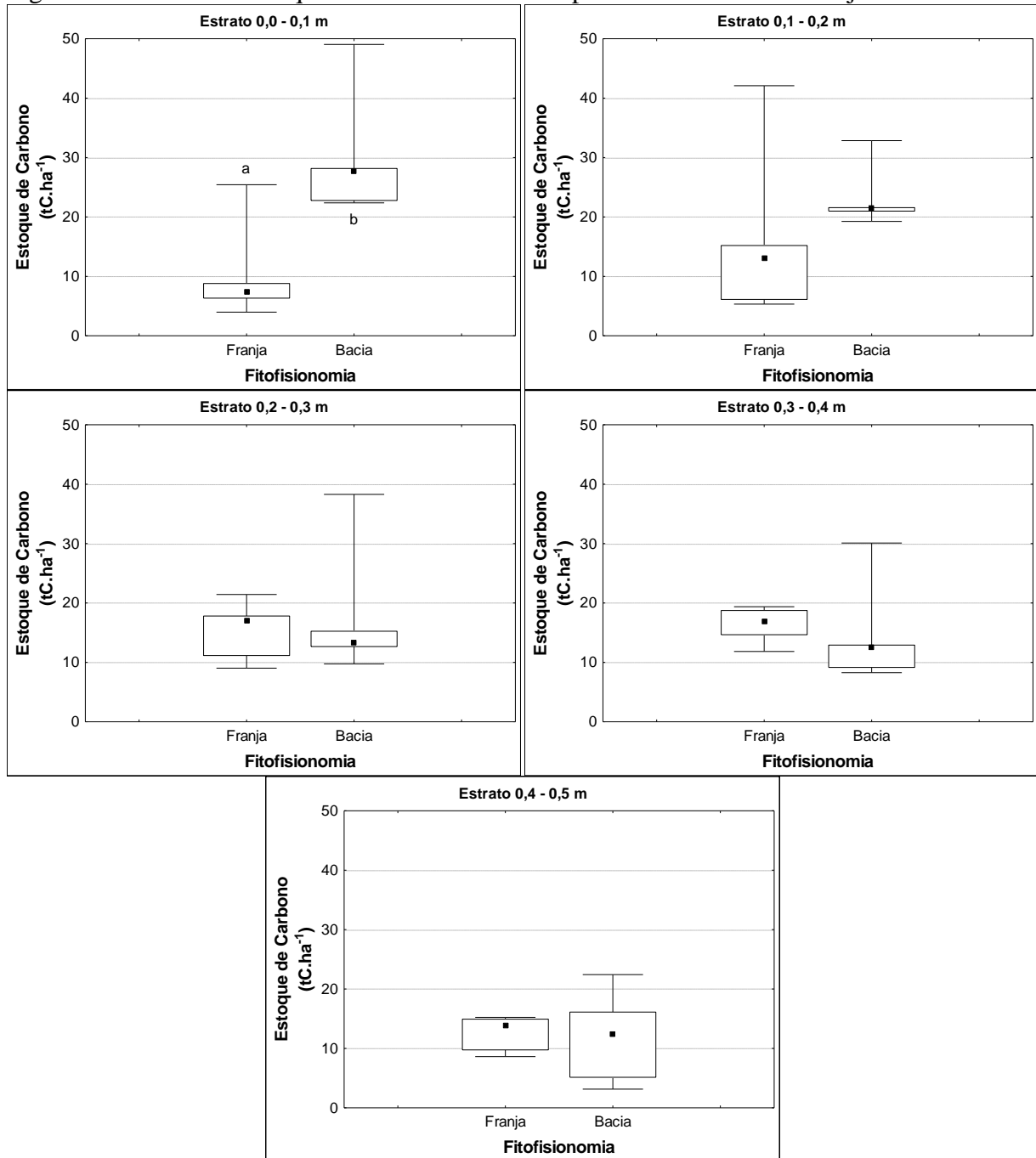


Figura 8 - Valores estimados de estoque de carbono na biomassa subterrânea, para as diferentes classes de diâmetro das raízes, na franja e na bacia.



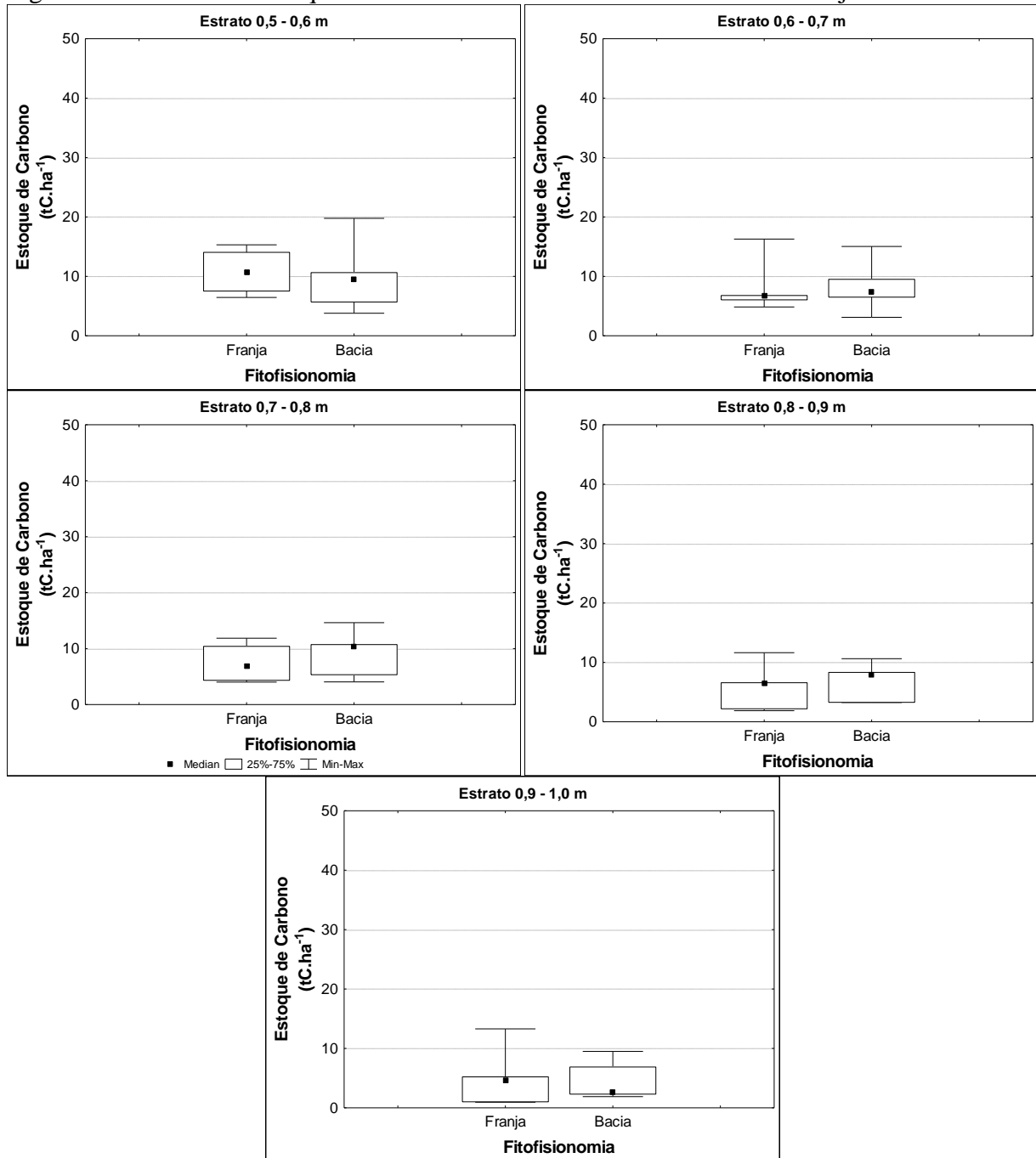
Legenda: Não foram encontradas diferenças significativas para valor de nível menor que 5% ($p < 0,05$) no teste não-paramétrico U de Mann-Whitney. ■ Mediana □ 25%-75% ⊥ Min-Max.

Figura 9 - Valores de estoque de carbono nos cinco primeiros estratos da franja e da bacia.



Legenda: As letras em cima das barras indicam diferença estatística significativa para valor de nível menor que 5% ($p < 0,05$) no teste não-paramétrico U de Mann-Whitney. ■ Mediana □ 25%-75% ⊥ Min-Max.

Figura 10 - Valores de estoque de carbono nos cinco últimos estratos da franja e da bacia.



Legenda: Não foi encontrada diferença estatística significativa para valor de nível menor que 5% ($p < 0,05$) no teste não-paramétrico U de Mann-Whitney. ■ Mediana □ 25%-75% ⊞ Min-Max.

Tabela 4 - Resultado do teste U de Mann-Whitney para a comparação, entre as fitofisionomias, do estoque de carbono para as diferentes classes de diâmetro das raízes.

Diâmetro (mm)	U	Z	p
Total	8,000	-0,940	0,347
<5	8,000	-0,940	0,347
5-10	10,000	0,522	0,602
10-20	9,000	0,731	0,465
20-50	8,000	0,940	0,347
>50	9,500	0,627	0,531

Tabela 5 - Resultado do teste U de Mann-Whitney para a comparação do estoque de carbono nos estratos entre as fitofisionomias.

Estrato (cm)	U	Z	p
0,0-0,1	2,000	-2,193	0,028
0,1-0,2	5,000	-1,567	0,117
0,2-0,3	12,000	0,104	0,917
0,3-0,4	7,000	1,149	0,251
0,4-0,5	12,000	0,104	0,917
0,5-0,6	8,000	0,490	0,624
0,6-0,7	11,000	-0,313	0,754
0,7-0,8	10,000	-0,522	0,602
0,8-0,9	9,000	-0,731	0,465
0,9-1,0	11,000	-0,313	0,754

Tabela 6 - Resultado do teste U de Mann-Whitney para a comparação da contribuição acumulada do estoque de carbono nos estratos entre as fitofisionomias.

Estrato (cm)	U	Z	p
0,0-0,1	0,00	-2,611	0,009
0,1-0,2	0,00	-2,611	0,009
0,2-0,3	0,00	-2,611	0,009
0,3-0,4	5,00	-1,566	0,117
0,4-0,5	9,00	-0,731	0,465
0,5-0,6	7,00	-1,148	0,251
0,6-0,7	8,00	-0,940	0,347
0,7-0,8	8,00	-0,940	0,347
0,8-0,9	8,00	-0,940	0,347
0,9-1,0	9,00	0,731	0,465

2.4 Considerações finais

Os valores de estoque de carbono na biomassa subterrânea de raízes são compatíveis com os apresentados na literatura, mas embora estes valores não estejam entre os mais altos, a contribuição deste compartimento neste sistema é bem acima da média descrita na literatura, o que reforça a importância deste e de outros estudos que se dediquem a contabilizar a contribuição da biomassa subterrânea para o estoque de carbono em florestas de mangue.

Embora a maior parte do estoque de carbono se concentre nos primeiros estratos e o primeiro estrato apresente diferença estatística significativa, o estoque total da franja e da bacia não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Entretanto há uma diferença de concentração do estoque de carbono entre as fitofisionomias, onde as florestas de bacia apresentam uma maior concentração do estoque nos primeiros 0,3 m de profundidade. Como não foi verificada diferença significativa de estoque entre as fitofisionomias nos estratos abaixo de 0,1 m de profundidade, os valores diferentes e mais altos nas florestas de bacia é que contribuem para a diferença na concentração do estoque na superfície da floresta (até 0,3 m de profundidade).

As raízes com diâmetro menor ou igual a 5 mm foram as que mais contribuíram para o estoque na biomassa subterrânea, contribuindo com até 80% do estoque total em ambas as fitofisionomias. As mesmas apresentam a maior contribuição em todos os estratos, enquanto a contribuição das raízes com diâmetro maior que 5 mm apresentam sua maior contribuição até 0,5 m de profundidade.

Como demonstrado por outros autores as estimativas de estoque de carbono na biomassa subterrânea podem variar dentro de uma mesma floresta em função da posição da mesma em relação ao corpo hídrico, o que mostra a necessidade de aprofundar os estudos para o melhor entendimento do comportamento do estoque de carbono na biomassa subterrânea em florestas de mangue.

Este estudo apresenta a primeira estimativa de estoque de carbono em biomassa subterrânea realizada para os manguezais da costa brasileira e que, embora, como dito anteriormente, exista uma variabilidade espacial que deve ser levada em consideração e

estudada de forma mais aprofundada, as estimativas aqui apresentadas servem de referência para futuros estudos em diferentes regiões do Brasil.

Anexo – Tabelas com os valores de estoque das trincheiras

Tabela 7 - Valores de estoque de carbono (tC.ha⁻¹) de cada classe de diâmetro em cada estrato da trincheira 1 na franja.

Classe de diâmetro	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	Biomassa acumulada (g)	Biomassa acumulada (%)
PN	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
<5	1,87	2,06	4,27	8,47	11,79	13,89	15,65	11,48	11,20	12,93	93,60	83,24
5-10	0,55	0,93	0,60	1,01	0,49	0,31	0,15	0,10	0,07	0,11	97,93	87,09
10-20	0,04	0,17	1,72	1,73	1,25	0,75	0,41	0,26	0,34	0,23	104,82	93,22
20-50	1,51	1,78	2,43	0,64	0,37	0,37	0,07	0,02	0,02	0,01	112,05	99,64
>50	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	112,45	100,00
Biomassa acumulada (g)	3,98	9,31	18,34	30,17	44,07	59,39	75,66	87,52	99,16	112,45	-	-
Biomassa acumulada (%)	3,54	8,28	16,31	26,83	39,19	52,81	67,29	77,83	88,18	100,00	-	-

Tabela 8 - Valores de estoque de carbono (tC.ha⁻¹) de cada classe de diâmetro em cada estrato da trincheira 2 na franja.

Classe de diâmetro	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	Biomassa acumulada (g)	Biomassa acumulada (%)
PN	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,07
<5	4,10	3,94	8,29	10,04	7,20	5,91	5,44	9,62	5,95	4,73	65,27	74,71
5-10	0,94	1,08	1,31	0,82	0,26	0,27	0,13	0,41	0,23	0,13	70,84	81,09
10-20	0,41	0,61	1,11	1,38	0,41	0,25	0,30	0,29	0,35	0,28	76,22	87,25
20-50	1,92	0,50	0,44	0,85	0,13	0,02	0,17	0,09	0,05	0,07	80,46	92,09
>50	0,00	0,00	0,00	6,29	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	87,36	100,00
Total	7,43	6,12	11,15	19,37	8,62	6,45	6,04	10,40	6,58	5,21	87,36	100,00
Biomassa acumulada (g)	7,43	13,54	24,69	44,07	52,69	59,14	65,18	75,58	82,16	87,36	-	-
Biomassa acumulada (%)	8,50	15,50	28,26	50,44	60,30	67,69	74,60	86,51	94,04	100,00	-	-

Tabela 9 - Valores de estoque de carbono ($tC.ha^{-1}$) de cada classe de diâmetro em cada estrato da trincheira 3 na franja.

Classe de diâmetro	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	Peso Final	Biomassa acumulada (g)	Biomassa acumulada (%)
PN	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,14	0,14
<5	5,52	9,76	18,99	13,56	14,60	12,46	6,58	4,23	1,79	0,95	88,44	88,58	86,77
5-10	1,30	1,62	0,82	0,24	0,20	0,10	0,07	0,04	0,02	0,02	4,44	93,02	91,13
10-20	0,28	2,03	1,01	0,53	0,41	0,22	0,12	0,07	0,06	0,04	4,77	97,78	95,79
20-50	1,55	1,78	0,60	0,33	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,29	102,08	100,00
>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	102,08	100,00
Total	8,80	15,19	21,43	14,66	15,23	12,78	6,77	4,34	1,87	1,01	102,08	102,08	100,00
Biomassa acumulada (g)	8,80	23,99	45,41	60,08	75,30	88,08	94,85	99,19	101,06	102,08	102,08	-	-
Biomassa acumulada (%)	8,62	23,50	44,49	58,85	73,77	86,29	92,92	97,17	99,01	100,00	100,00	-	-

Tabela 10 - Valores de estoque de carbono ($tC.ha^{-1}$) de cada classe de diâmetro em cada estrato da trincheira 4 na franja.

Classe de diâmetro	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	Peso Final	Biomassa acumulada (g)	Biomassa acumulada (%)
PN	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,12	0,13
<5	3,37	8,31	10,14	10,04	8,57	0,00	4,54	6,47	6,05	4,22	61,71	61,83	72,01
5-10	1,24	2,05	1,48	0,76	0,30	0,00	0,14	0,20	0,12	0,10	6,39	68,22	79,46
10-20	0,54	1,41	1,67	1,22	0,41	0,00	0,16	0,24	0,24	0,16	6,04	74,26	86,49
20-50	1,07	0,64	3,71	3,45	0,47	0,00	0,01	0,02	0,07	0,10	9,54	83,80	97,60
>50	0,00	0,61	0,00	1,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	85,86	100,00
Total	6,34	13,03	17,00	16,91	9,75	0,00	4,85	6,92	6,48	4,58	85,86	85,86	100,00
Biomassa acumulada (g)	6,34	19,37	36,37	53,28	63,02	63,02	67,87	74,80	81,28	85,86	85,86	-	-
Biomassa acumulada (%)	7,38	22,55	42,36	62,05	73,40	73,40	79,05	87,11	94,66	100,00	100,00	-	-

Tabela 11 - Valores de estoque de carbono (tC.ha⁻¹) de cada classe de diâmetro em cada estrato da trincheira 5 na franja.

Classe de diâmetro	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	Peso Final	Biomassa acumulada (g)	Biomassa acumulada (%)
PN	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,35	0,25
<5	17,22	33,22	14,93	17,74	14,26	8,32	6,41	3,84	2,06	0,85	118,85	119,20	84,26
5-10	2,44	1,77	0,68	0,37	0,26	0,11	0,13	0,09	0,06	0,03	5,95	125,15	88,47
10-20	1,01	3,08	1,59	0,53	0,36	0,15	0,12	0,08	0,07	0,05	7,04	132,19	93,45
20-50	3,87	3,20	0,61	0,09	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	7,84	140,04	98,99
>50	0,55	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	1,42	141,46	100,00
Total	25,43	42,09	17,81	18,73	14,92	8,61	6,74	4,02	2,19	0,94	141,46	141,46	100,00
Biomassa acumulada (g)	25,43	67,51	85,32	104,05	118,97	127,58	134,32	138,33	140,52	141,46	141,46	-	-
Biomassa acumulada (%)	17,97	47,73	60,32	73,55	84,10	90,19	94,95	97,79	99,34	100,00	100,00	-	-

Tabela 12 - Valores de estoque de carbono (tC.ha⁻¹) de cada classe de diâmetro em cada estrato da trincheira 6 na bacia.

Classe de diâmetro	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	Peso Final	Biomassa acumulada (g)	Biomassa acumulada (%)
PN	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,42	0,33
<5	18,62	16,93	13,09	10,37	11,30	9,21	9,29	10,56	8,19	2,51	110,07	110,49	87,24
5-10	1,88	1,03	0,56	0,31	0,17	0,10	0,07	0,06	0,05	0,02	4,25	114,74	90,59
10-20	0,94	1,29	1,09	0,53	0,39	0,21	0,13	0,10	0,08	0,08	4,85	119,59	94,42
20-50	0,90	0,00	0,18	1,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,49	122,08	96,39
>50	0,00	0,00	0,33	0,17	4,06	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	4,58	126,66	100,00
Total	22,77	19,25	15,25	12,57	16,12	9,53	9,51	10,72	8,32	2,61	126,66	126,66	100,00
Biomassa acumulada (g)	22,77	42,03	57,27	69,85	85,97	95,50	105,00	115,72	124,04	126,66	126,66	-	-
Biomassa acumulada (%)	17,98	33,18	45,22	55,15	67,88	75,40	82,90	91,37	97,94	100,00	100,00	-	-

Tabela 13 - Valores de estoque de carbono (tC.ha⁻¹) de cada classe de diâmetro em cada estrato da trincheira 7 na bacia.

Classe de diâmetro	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	Peso Final	Biomassa acumulada (g)	Biomassa acumulada (%)
PN	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,37	0,35
<5	16,24	17,15	6,30	6,66	2,64	3,59	7,20	10,21	7,73	9,41	87,14	87,51	81,31
5-10	2,18	1,58	0,73	0,19	0,12	0,07	0,05	0,07	0,06	0,03	5,06	92,56	86,00
10-20	1,07	1,50	1,07	0,41	0,13	0,14	0,11	0,08	0,09	0,06	4,66	97,22	90,33
20-50	2,23	1,34	4,05	1,01	0,27	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	8,96	106,19	98,66
>50	0,29	0,00	1,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	107,63	100,00
Total	22,38	21,57	13,30	8,27	3,15	3,79	7,40	10,38	7,88	9,50	107,63	107,63	100,00
Biomassa acumulada (g)	22,38	43,95	57,25	65,52	68,67	72,47	79,87	90,25	98,13	107,63	107,63	-	-
Biomassa acumulada (%)	20,79	40,83	53,19	60,88	63,80	67,33	74,20	83,85	91,17	100,00	100,00	-	-

Tabela 14 - Valores de estoque de carbono (tC.ha⁻¹) de cada classe de diâmetro em cada estrato da trincheira 8 na bacia.

Classe de diâmetro	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	Peso Final	Biomassa acumulada (g)	Biomassa acumulada (%)
PN	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,40	0,36
<5	20,94	17,20	7,49	12,16	12,09	10,19	6,12	4,92	2,85	1,52	95,49	95,89	85,29
5-10	2,61	1,04	0,67	0,22	0,15	0,20	0,14	0,18	0,16	0,21	5,59	101,48	90,26
10-20	1,95	1,76	1,21	0,51	0,23	0,22	0,19	0,23	0,22	0,13	6,64	108,12	96,16
20-50	2,26	1,51	0,38	0,02	0,00	0,01	0,05	0,01	0,04	0,04	4,31	112,44	100,00
>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	112,44	100,00
Total	28,16	21,51	9,75	12,91	12,47	10,64	6,50	5,34	3,28	1,89	112,44	112,44	100,00
Biomassa acumulada (g)	28,16	49,67	59,42	72,33	84,80	95,43	101,94	107,27	110,55	112,44	112,44	-	-
Biomassa acumulada (%)	25,05	44,18	52,85	64,33	75,42	84,88	90,66	95,41	98,32	100,00	100,00	-	-

Tabela 15 - Valores de estoque de carbono (tC.ha⁻¹) de cada classe de diâmetro em cada estrato da trincheira 9 na bacia.

Classe de diâmetro	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	Peso Final	Biomassa acumulada (g)	Biomassa acumulada (%)
PN	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,74	0,31
<5	41,35	26,81	34,28	28,65	21,72	19,21	14,46	14,28	10,17	6,48	217,43	218,17	91,04
5-10	3,94	1,62	0,73	0,41	0,32	0,34	0,20	0,13	0,13	0,14	7,96	226,13	94,37
10-20	2,47	2,36	1,19	0,68	0,33	0,20	0,36	0,21	0,28	0,23	8,29	234,42	97,83
20-50	0,55	2,06	2,08	0,02	0,05	0,02	0,01	0,00	0,05	0,03	4,88	239,30	99,86
>50	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	239,63	100,00
Total	49,05	32,85	38,29	30,09	22,42	19,77	15,03	14,63	10,63	6,87	239,63	239,63	100,00
Biomassa acumulada (g)	49,05	81,90	120,19	150,28	172,70	192,47	207,50	222,13	232,76	239,63	239,63	-	-
Biomassa acumulada (%)	20,47	34,18	50,15	62,71	72,07	80,32	86,59	92,70	97,13	100,00	100,00	-	-

Tabela 16 - Valores de estoque de carbono (tC.ha⁻¹) de cada classe de diâmetro em cada estrato da trincheira 10 na bacia.

Classe de diâmetro	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	Peso Final	Biomassa acumulada (g)	Biomassa acumulada (%)
PN	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03
<5	24,62	18,92	11,40	8,63	5,02	5,34	2,76	3,71	2,74	2,07	85,21	85,24	90,64
5-10	1,20	1,05	0,43	0,24	0,00	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11	3,53	88,77	94,40
10-20	1,00	0,95	0,82	0,27	0,10	0,21	0,16	0,14	0,24	0,08	3,97	92,75	98,63
20-50	0,84	0,06	0,02	0,00	0,02	0,02	0,07	0,06	0,15	0,04	1,29	94,03	100,00
>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,04	100,00
Total	27,71	20,98	12,67	9,15	5,14	5,69	3,11	4,05	3,25	2,30	94,04	94,04	100,00
Biomassa acumulada (g)	27,71	48,69	61,36	70,51	75,65	81,33	84,44	88,49	91,74	94,04	94,04	-	-
Biomassa acumulada (%)	29,46	51,77	65,25	74,98	80,44	86,49	89,79	94,10	97,55	100,00	100,00	-	-

3 AVALIAÇÃO METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA SUBTERRÂNEA EM FLORESTAS DE MANGUE

Resumo

Os estudos da biomassa subterrânea têm mostrado cada vez mais a importância da contribuição deste compartimento na produção de florestas de mangue. Porém, em função das dificuldades de amostragem esse compartimento é pouco estudado, quando comparado à parte aérea da biomassa dessas florestas. Uma alternativa para contornar essa dificuldade tem sido a amostragem simplificada através de testemunhos, porém esse método de amostragem impõe algumas limitações às estimativas de biomassa subterrânea. No presente estudo, foi comparado as estimativas da biomassa de raízes subterrânea de florestas de franja e bacia nos manguezais da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ), através de dois métodos: testemunhos e trincheiras. Foram escavadas 10 trincheiras de 1 m³ e foram coletados 10 testemunhos, de 1m de profundidade e 7 cm de diâmetro, ao redor de cada trincheira. Foi comparado a contribuição de diferentes classes de tamanho raízes e a estratificação vertical da biomassa no sedimento. A média do estoque de carbono total na biomassa subterrânea das florestas foi de, respectivamente para franja e bacia, $105,84 \pm 22,73 \text{ tC.ha}^{-1}$ e $136,08 \pm 59,05 \text{ tC.ha}^{-1}$ nas trincheiras e $137,65 \pm 27,80 \text{ tC.ha}^{-1}$ e $136,14 \pm 60,37 \text{ tC.ha}^{-1}$ nos testemunhos, dos quais as raízes finas com menos de 5 mm apresentaram uma contribuição de 80% e 87% nas trincheiras e 92% e 93% nos testemunhos, respectivamente para a franja e bacia respectivamente em ambos. A maior parte do estoque está concentrada nos primeiros 40 cm abaixo da superfície (ca. de 70%). Na amostragem por testemunhos não foram obtidas raízes com diâmetros acima de 50 mm em função da dificuldade de recortá-las com o tubo, mostrando esta ser uma limitação deste método. Estas estimativas mostram que os métodos de amostragem que desconsiderem as raízes com diâmetro inferiores a 1 cm podem subestimar biomassa desse compartimento.

Palavras-chaves: estoque de carbono; trincheiras; testemunhos; Reserva Biológica Estadual de Guaratiba.

3.1 Introdução

De acordo com Donato *et al.* (2011) o carbono estocado nas florestas de mangue está, em sua maior parte, no sedimento, na biomassa subterrânea e na biomassa vegetal aérea, respectivamente, mostrando a importância da biomassa subterrânea. No entanto, segundo Komiyama *et al.* (2008) são poucas as estimativas disponíveis para este compartimento.

Não existe um consenso com relação ao método mais adequado para amostragem da biomassa subterrânea em florestas de mangue, bem como sobre o desenho amostral que deve ser realizado para a execução de tais amostragens e posterior estimativa da biomassa subterrânea. Diversos autores utilizam diferentes formas para amostrar e estimar a biomassa subterrânea em florestas de mangue. Para tanto são utilizados métodos diretos (Komiyama *et al.*, 1987; Khan *et al.*, 2007; Donato *et al.*, 2012) ou métodos indiretos (Komiyama *et al.*, 1987; Comley e McGuinness, 2005; Khan *et al.*, 2009). No entanto, Komiyama *et al.*, (1987) sugerem que a utilização de métodos indiretos baseados em modelos alométricos podem subestimar a biomassa subterrânea.

Os métodos indiretos apresentam uma grande diversidade de modelos que são utilizados para estimar a biomassa subterrânea (e.g. Kusmana, 1997, Komiyama *et al.*, 2000; Khan *et al.*, 2007), entretanto estas diferenças se dão principalmente em função do táxon estudado, do que do próprio método especificamente. Estes métodos dividem-se em dois grupos, os baseados em alometria e aqueles baseados no comportamento radicular como descrito no Capítulo I.

Os métodos indiretos baseados em relações alométricas utilizam medidas e parâmetros de indivíduos introduzidos em um modelo (equação) ajustado por técnicas de regressão. Alguns autores utilizaram este método para estimar a biomassa subterrânea em florestas de mangue (Poungparn *et al.*, 2002; Comley e McGuinness, 2005). No segundo caso, a biomassa é estimada através de equações que representam o comportamento radicular subterrâneo, como por exemplo, modelos que levam em consideração a densidade de raízes na base de um indivíduo e a distância que as raízes podem alcançar horizontalmente e verticalmente (Komiyama *et al.*, 1987, 2000; Khan *et*

al., 2009). Além destas abordagens, outros modelos desenvolvidos a partir de equações ajustadas por regressões lineares levam em consideração (variável independente) a biomassa aérea, estabelecendo uma relação direta com esta (Matsui, 1998; Ray *et al.*, 2011). A relação entre biomassa aérea e biomassa subterrânea, descritas por estes autores em florestas de mangue, apresentou-se altamente significativa, com coeficientes de regressão (R^2) acima de 0,97. Como mostrado no primeiro capítulo dessa tese, a relação entre biomassa aérea e a biomassa subterrânea apresenta resposta estatística significativa ($p < 0,05$), porém outros fatores, em escalas local, regional e global podem influenciar fortemente a biomassa (Sherman *et al.*, 2003). Para a construção de todos estes modelos utilizados na estimativa da biomassa subterrânea, é necessária a realização de uma etapa anterior, onde amostras da biomassa de raízes são obtidas para posterior correlação com os diferentes parâmetros (variáveis independentes) na construção dos modelos (Komiyama *et al.*, 1987; 2000; Kusmana, 1997; Matsui, 1998; Pongparn *et al.*, 2002; Comley e McGuinness, 2005; Khan *et al.*, 2009; Ray *et al.*, 2011).

Para os métodos diretos, a diversidade das técnicas também é reduzida. Três técnicas são as mais utilizadas na amostragem de raízes. A primeira consiste na escavação de uma trincheira, que envolve a retirada de uma grande quantidade de sedimento (Komiyama *et al.*, 1987; Khan *et al.*, 2007; 2009). Esta técnica é a única capaz de amostrar todas as raízes em suas diferentes classes de diâmetro e causa menos danos e perdas das raízes a serem coletadas, no entanto envolve uma enorme logística e quantidade de trabalho em campo.

A segunda técnica é aquela que utiliza testemunhos, consistindo na introdução de um tubo de alumínio ou pvc com diâmetro pre-determinado e com a extremidade aberta no sedimento, permitindo a entrada de substrato e conseqüentemente das raízes (Kauffman *et al.*, 2011; Donato *et al.*, 2011; 2012). Nesta técnica, raízes com mais de 20 mm não são amostradas, pois o testemunho normalmente não consegue rompê-las. As raízes finas amostradas através do método de testemunho correspondem a cerca de 90% da biomassa subterrânea total. Além disto, esta metodologia requer uma grande quantidade de amostras em função do pequeno volume coletado por cada testemunho.

A terceira técnica utiliza jato d'água pressurizado que remove o sedimento expondo a raiz (Pongparn *et al.*, 2002; Ong *et al.*, 2004; Comley e McGuinness, 2005, Okimoto *et al.*, 2008). No entanto, alguns autores explicam que ao utilizar esta técnica,

as raízes com diâmetros inferiores a 10 mm são destruídas e perdidas. Estas raízes, segundo Komiyama *et al* (1987), correspondem a cerca de 70% da biomassa subterrânea total e conseqüentemente do estoque de carbono.

De acordo com Komiyama (1987) as raízes finas são distribuídas homogeneamente pelo solo, o que possibilita a coleta aleatória com os testemunhos ao longo das fitofisionomias estabelecidas enquanto que as raízes mais grossas são encontradas com maior frequência próximas aos indivíduos. Porém estas correspondem a uma parte da biomassa muito limitada. Além disso, as raízes finas menores que 5 mm, que representam a maior parte daquelas amostradas com esta metodologia, também possuem uma distribuição vertical proporcionalmente homogênea em relação às raízes mais grossas ao longo dos estratos, ou seja, as raízes finas são encontradas em todos os estratos e em maior quantidade do que aquelas mais grossas.

Apesar das trincheiras obterem uma ótima estimativa da biomassa de raízes subterrâneas, por conseguirem amostrar uma grande quantidade de sedimento e abranger todas as classes de tamanho, as mesmas são muito trabalhosas e envolvem um alto custo e uma grande equipe durante um longo período de tempo. A utilização de testemunhos é mais rápida, prática e com um custo mais baixo, mesmo considerando um número de amostras superior ao das trincheiras, fazendo com que essa metodologia seja muito mais utilizada do que a outra.

Todos os métodos anteriormente descritos apresentam vantagens e desvantagens, seja: pela grande dificuldade de amostragem, como nas escavações das trincheiras; pelo grande número de amostragem utilizando testemunhos; ou pela perda de uma quantidade considerável de biomassa pelos jatos d'água; ou ainda pela possibilidade de subestimativa dos modelos matemáticos ou testemunhos.

Embora mais prática, rápida e com custo menor do que a amostragem utilizando trincheiras, as amostragens com testemunhos possuem limitações quantitativas e qualitativas, pois coletam um volume de sedimento menor e não amostram todas as classes de tamanho de raízes. Apesar dessas constatações, não há na literatura nenhuma comparação entre os métodos mais adotados para a amostragem visando a estimativa da biomassa subterrânea, nesse caso, amostragens por trincheiras e testemunhos, que justifique o uso de uma ou de outra em função de suas vantagens e desvantagens.

A adoção de um método que possa tornar a amostragem de raízes mais prática e expedita, sem causar distorções na estimativa da biomassa subterrânea, tornando mais abrangente o inventário deste compartimento em florestas de mangue, depende necessariamente da comprovação de sua capacidade de obtenção de estimativas confiáveis.

3.1.1 Objetivos

Assim, o presente estudo tem como objetivo a comparação de estimativas da biomassa subterrânea em florestas de mangue, utilizando-se dois métodos de amostragem direta de raízes: as trincheiras e os testemunhos.

Tal comparação tem como premissa que a amostragem por trincheiras representa melhor a biomassa subterrânea. Espera-se verificar se a amostragem através de testemunhos apresenta-se como uma alternativa à complexa amostragem por trincheiras, sem prejuízo à qualidade das estimativas de biomassa subterrânea

3.2 **Métodos**

3.2.1 Amostragens e tratamento das amostras

Para estimar a biomassa de raízes das florestas na área de estudo foram utilizadas e comparadas duas metodologias diferentes para a coleta das raízes: trincheiras e testemunhos.

A metodologia de trincheiras utilizada neste estudo foi a descrita por Komiyama *et al.* (1987, 2000), onde foram realizadas escavações de dez trincheiras com 1 m de largura, 1 m de comprimento e 1 metro de profundidade, totalizando 1 m³, segundo método descrito em detalhes no capítulo anterior.

Os testemunhos utilizados para amostragem neste estudo possuem volumes fixos com 1,5 m de comprimento e 7 cm de diâmetro interno, porém somente o primeiro metro foi contabilizado totalizando um volume de 0,0038 m³. Estes testemunhos foram inseridos manualmente no sedimento das florestas de mangue (Figura 11). Em função do reduzido volume amostrado foram coletados 10 testemunhos associados a cada trincheira, totalizando 100 testemunhos 0,2 m³ de volume de sedimento amostrado. Verticalmente os testemunhos foram estratificados em 10 estratos de 10 cm cada, a exemplo do realizado com as amostras das trincheiras. A estratificação foi realizada com auxílio de uma régua milimetrada e as camadas cortadas com o uso de uma espátula de aço manualmente (Figura 12).

O material coletado pelos testemunhos foi levado ao laboratório para lavagem em água corrente e retirada total do sedimento com ajuda de peneiras com malha de 0,25 mm. As raízes foram separadas nas seguintes classes de diâmetro: (a) menores ou igual que 5 mm; (b) maiores que 5 mm e menores ou igual a 10 mm; (c) maiores que 10 mm e menores ou igual a 20 mm; (d) maiores que 20 mm e menores ou igual 50 mm; (e) maiores que 50 mm. As raízes triadas foram armazenadas e secas em estufa a 70° C, para obtenção do peso seco.

Os estudos realizados até o momento utilizam classes de diâmetros semelhantes (Komiya et al., 1987; Pongparn et al. 2002; Tamooh *et al.*, 2008), alguns estudos utilizam a medida de 2 mm como limite da classe inferior (Komiya et al., 1987), no entanto a precisão para a realização da medição de diâmetros abaixo de 5 mm fica comprometida e por isso optou-se por utilizar neste estudo a classe de 5 mm como limite inferior.

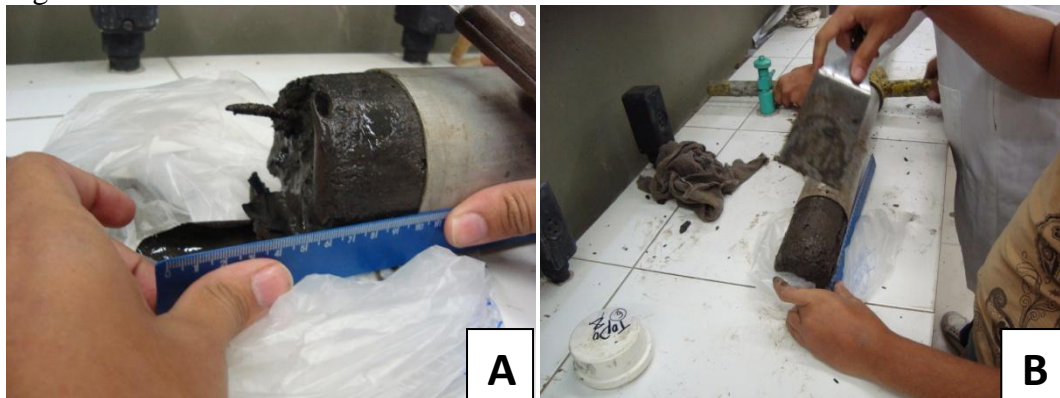
Figura 11 - Coleta do sedimento com testemunhos.



Legenda: (A) - Início da inserção dos testemunhos nos primeiros estratos; (B) - finalização da inserção do testemunho.

Fonte: O autor, 2015.

Figura 12 - Retirada do sedimento dos tubos de testemunho



Legenda: (A) - Medição dos 0,1 m da primeira camada de sedimento do testemunho; (B) - retirada do segundo estrato (0,1-0,2m) do testemunho.

Fonte: O autor, 2015.

3.2.2 Estimativa do estoque de carbono na biomassa subterrânea

Para calcular o carbono estocado na biomassa de raízes subterrâneas, primeiro foi calculada a contribuição de cada espécie na floresta conforme descrito no Capítulo

II, considerando-se a dominância em área basal, em seguida foi aplicada a taxa de conversão de biomassa em carbono proposta em estudo anterior realizado nos manguezais de Guaratiba (Rodrigues et al., 2015): 42,6% para *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana* e 40,0% para *Rhizophora mangle*.

3.2.3 Testes estatísticos

Para atender ao objetivo deste estudo, foram realizados testes estatísticos segundo o recomendado por ZAR (1996). Embora algumas premissas de testes paramétricos não fossem violadas tão fortemente, pelo baixo número amostral e a não conformidade com a distribuição normal de todas as variáveis, optou-se pela aplicação de teste não paramétrico ainda que este seja menos robusto na detecção de possíveis diferenças.

Para as comparações dos valores de estoque de carbono estimados segundo os dois métodos para cada tipo fisiográfico foi utilizado o Teste U de Mann-Whitney. O mesmo teste foi utilizado para comparar os valores estimados pelos referidos métodos nos diferentes estratos dos tipos fisiográficos, como também nos diferentes compartimentos da biomassa de raízes subterrâneas. Utilizando como nível descritivo do teste 5% ($p < 0,05$). Para a realização do teste U foi utilizado o pacote estatístico do programa *Statistica 7.0* ®.

3.3 **Resultados e discussão**

A média do estoque de carbono na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba utilizando o método de amostragem por testemunhos foi estimada em $137,65 \pm 27,80$ tC.ha⁻¹ na franja e de $136,14 \pm 60,37$ tC.ha⁻¹ na bacia, sendo que desse valor, $127,65 \pm 28,10$ tC.ha⁻¹ e $127,27 \pm 56,56$ tC.ha⁻¹ correspondem ao estoque contido nas raízes finas com diâmetro menor de 5 mm respectivamente para a franja e bacia, ou seja, este compartimento corresponde a cerca de 92% e 93% do estoque total respectivamente

para franja e bacia (Figuras 13 e 14). Os maiores e menores valores de estoque de carbono foram de 226,04 tC.ha⁻¹ e 96,31 tC.ha⁻¹ na bacia e na franja respectivamente. Conforme apresentado no capítulo II desta tese, a média de estoque de carbono na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba é de 105,84 ± 22,73 tC.ha⁻¹ na franja e de 136,08 ± 59,05 tC.ha⁻¹ na bacia, os valores de estoque de carbono de cada classe de diâmetro por estrato de cada trincheira são apresentados no Anexo I deste capítulo. Sendo que desse valor, 85,56 ± 23,26 tC.ha⁻¹ e 119,07 ± 55,85 tC.ha⁻¹ correspondem ao estoque contido nas raízes finas com diâmetro inferior a 5 mm respectivamente para a franja e bacia, ou seja, este compartimento corresponde a cerca de 80% e 87% do estoque subterrâneo total respectivamente para franja e bacia. Os valores máximo e mínimo de estoque de carbono foram de 239,63 tC.ha⁻¹ e 85,86 tC.ha⁻¹ na bacia e na franja respectivamente.

Não foi observado uma diferença estatística significativa para o valores de estoque total de carbono quando comparadas os dois métodos para as duas fitofisionomias. Também não foi verificado diferença estatística significativa para as raízes com diâmetro maiores que 5 mm e menores ou igual a 10 mm, em ambas as fitofisionomias, como podemos verificar nas Figuras 15 e 16. Na Tabela 17 são apresentados os resultados dos testes U de Mann-Whitney comparando as duas metodologias nas duas fitofisionomias distintas.

Para as classes de diâmetro menor ou igual a 5 mm e maiores que 10 mm e menores ou igual a 20 mm encontramos uma diferença significativa para os valores de estoque somente na franja. Já as raízes com diâmetros maiores que 20 mm e menores ou igual a 50 mm e superiores a 50 mm apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as metodologias tanto para a fitofisionomia de franja quanto a de bacia.

Em relação à comparação dos métodos para a estimativa da biomassa subterrânea e respectivo estoque nos estratos, não foi observado nenhuma diferença estatística significativa, como podemos verificar nas Figuras 17, 18, 19 e 20 e na Tabela 18.

Diversos estudos utilizam o método de testemunhos para a amostragem de raízes para estimativa da biomassa subterrânea e estoque de carbono na mesma, como por exemplo Santilan (1997), Sherman *et al* (2003), Tamooh *et al* (2008), Donato *et al* (2011) e Abohassan *et al* (2012), o que mostra ser uma técnica bem difundida em

função de sua praticidade. Porém, a mesma apresenta limitações, como por exemplo a exclusão de raízes mais grossas e a limitação na profundidade.

Neste estudo, durante as amostragens, eventualmente um testemunho teve de ser abandonado no meio da coleta pela dificuldade de romper raízes mais grossas, que na coleta por trincheiras podem ser serradas e incluídas na amostragem. A introdução manual dos testemunhos além de limitar as classes de raízes amostradas também limita a profundidade amostrada. Howard *et al* (2014) apontaram que a introdução manual do equipamento para coleta do testemunho é uma das limitações, porém as taxas de compactação do sedimento são menores do que as técnicas que utilizam máquinas para introdução dos tubos coletores, que com esta metodologia alcançam grandes profundidades. No presente estudo não foi realizada medição da profundidade total do solo, como o realizado por Donato *et al* (2011; 2012) e Kauffman *et al* (2011), assim sendo o estoque de carbono na biomassa de raízes subterrâneas foi estimado na mesma profundidade que a estimativa realizada utilizando-se as amostragens por trincheiras. De acordo com Howard *et al* (2014) em geral uma das desvantagens dos métodos que utilizam a coleta por testemunhos manualmente, é a dificuldade de se alcançar grandes profundidades. Estes autores sugerem que as amostragens com testemunhos tenham pelo menos um metro de profundidade.

Alguns autores no entanto, utilizaram profundidades menores que a sugerida na bibliografia. Abohassan *et al* (2012), que apresentou somente valores de biomassa e não apresentou de estoque de carbono, utilizou testemunhos com apenas 0,5 m de profundidade. Este autor obteve um valor aproximadamente de 50% a 80% menor da biomassa de raízes subterrâneas que o valor encontrado neste estudo levando-se em consideração a mesma profundidade deste autor. No estudo aqui apresentado, a biomassa até 0,5 m de profundidade corresponde a cerca de 60% da biomassa total. Outros autores também utilizaram a metodologia de testemunhos com profundidades inferiores a 1 m, como por exemplo Sherman *et al.* (2003) e Tamooh *et al.* (2008), que utilizaram profundidades de 0,5 m e 0,6 m respectivamente e também obtiveram uma biomassa aproximadamente em média 50% menor do que a encontrada neste estudo. Como as raízes finas (que representam a maior parte da biomassa subterrânea) possuem contribuições distintas em cada estrato, a utilização de testemunhos em pequenas profundidades, onde ocorre uma maior contribuição das raízes mais grossas pode também ocasionar subestimativa dos valores de estoque. Assim, recomenda-se que os

testemunhos sejam coletados com profundidades de 1m. Outros estudos também utilizam profundidades semelhantes, variando entre 1 m e 1,2 m mesmo que as raízes possam ocorrer a uma profundidade maior (Donato *et al.*, 2011; 2012; Kauffman *et al.*, 2011).

O método de testemunho é o mais utilizado e sugerido para realizar inventários do estoque de carbono na biomassa de raízes subterrâneas e vem sendo utilizado em larga escala. Este método proporciona uma amostragem bem mais fácil, rápida e prática em relação as escavações por trincheiras, apresentando um ótimo custo benefício logístico. Outros métodos também oferecem uma maior praticidade em relação as trincheiras, como a utilização de jatos de água pressurizada. Porém estas, segundo os autores que a utilizaram (Ong *et al.*, 2004; Okimoto *et al.*, 2008), excluem as raízes com diâmetro inferior a 20 mm. Neste estudo por exemplo se esta metodologia fosse aplicada seria excluído cerca de 90% da biomassa de raízes e consequentemente do estoque. Este método, por jateamento de água, reduz a dificuldade de coleta, porém reduz a biomassa coletada.

Assim também podemos dizer de alguns modelos alométricos, que, segundo Komiyama *et al* (1987) e Persson (2002) , em função da alta variabilidade da biomassa de raízes de grandes árvores (em função de padrões de crescimento muito variáveis destes indivíduos e que o mesmo não é acompanhado pelo crescimento das raízes), que os mesmos podem tanto subestimar quanto superestimar a biomassa de raízes dependendo do momento em que se encontra o indivíduo.

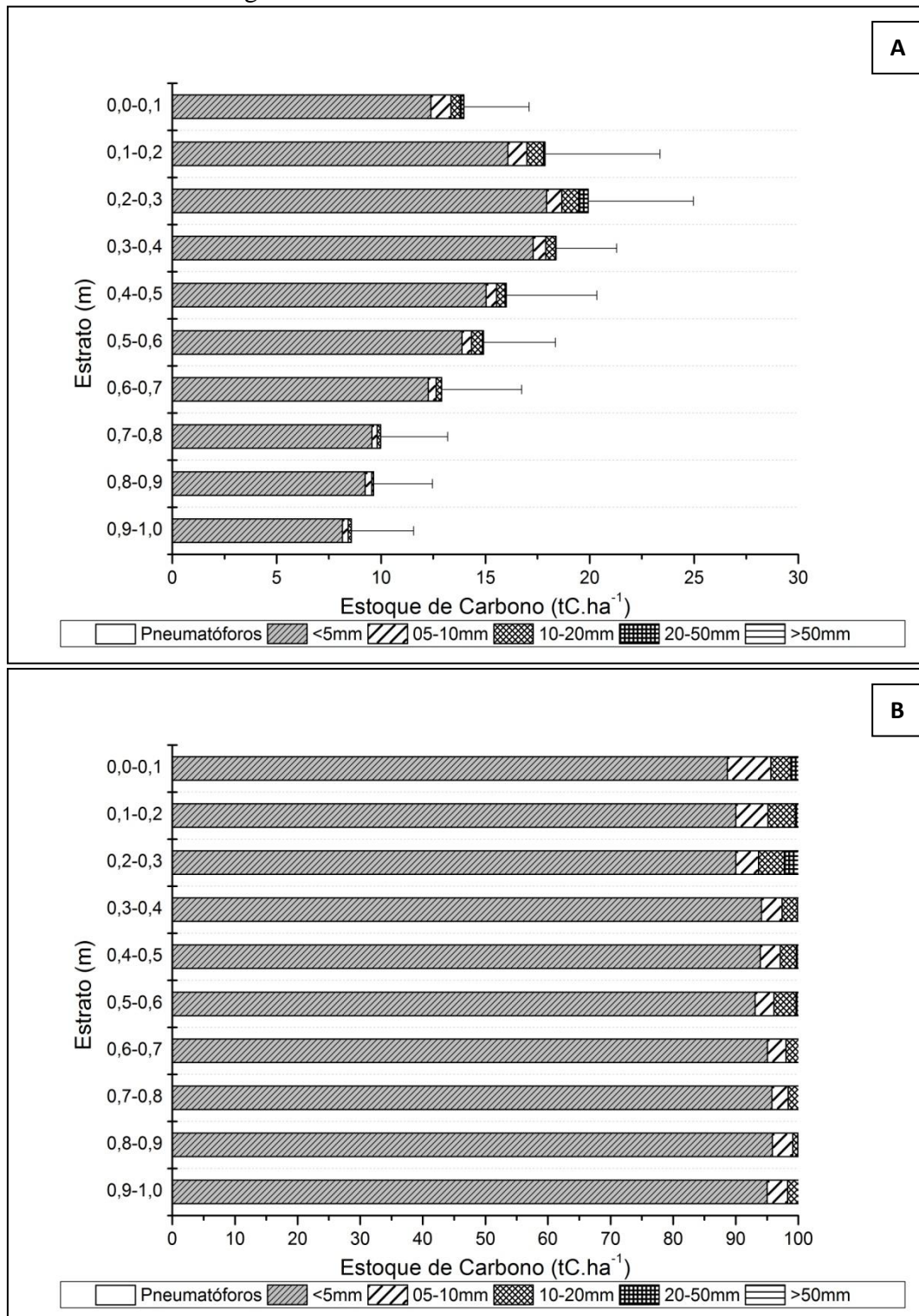
Embora haja diferença significativa entre os métodos para os valores de estoque de carbono em algumas classes de diâmetro das raízes, não foi observada uma diferença para o estoque total. Porém, como foi verificado onde a contribuição das raízes finas (com diâmetro menor ou igual a 5 mm) foi menor, foi observado uma diferença nos valores de estoque entre os métodos para este compartimento. Isso mostra que em regiões onde a contribuição das raízes finas é alta não existe diferença entre os métodos para esta classe de diâmetro, porém quando estas correspondem a uma parcela menor o estoque de carbono nesta classe de diâmetro apresenta diferença. Isto pode ocultar eventuais problemas do método.

Como podemos observar quando comparamos os valores de estoque total de carbono, os valores obtidos com o testemunho representam uma diferença

aproximadamente de 30% e 0,04%, respectivamente para franja e bacia, em relação aos valores obtidos utilizando a metodologia de trincheiras, que deve se dar principalmente em função a diferença de contribuição das raízes finas em cada fitofisionomia. Ou seja, utilizando os valores fornecidos pelo método de trincheiras, na bacia, onde a contribuição das raízes finas é maior não houve diferença significativa e na franja, onde a contribuição das raízes finas é menor, a diferença foi significativa.

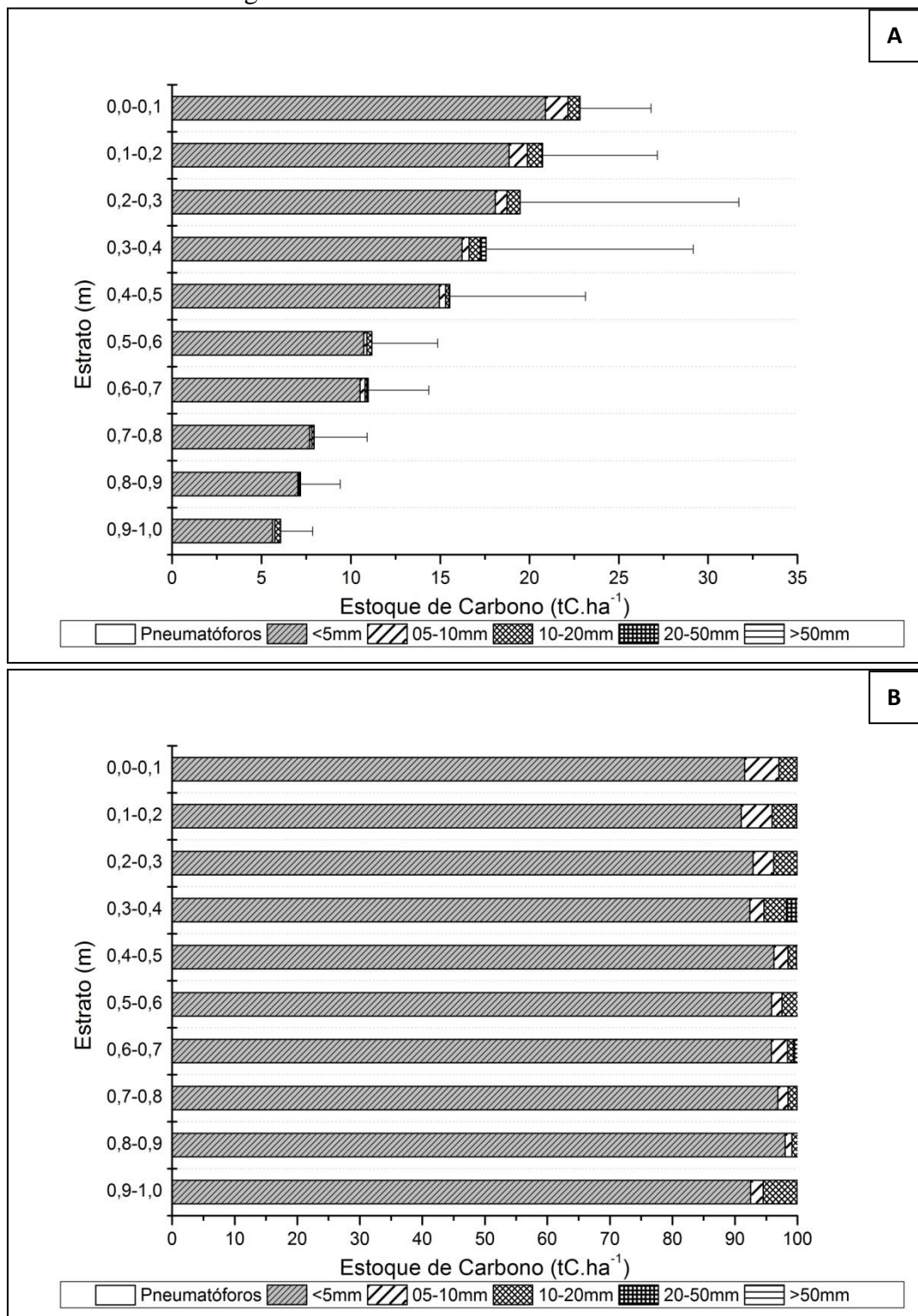
A diferença, dos valores de estoque entre os métodos, verificada para as classes de diâmetro das raízes mais grossas (maiores que 20 mm e menores ou igual 50mm; e maior ou igual a 50) se dá principalmente em função das limitações da amostragem com testemunhos em função dos mesmos não coletarem raízes mais grossas. Isto é, como o testemunho não coleta os maiores diâmetros de raiz, este compartimento pode ser subestimado e apresentar diferença significativa em relação aos valores apresentados utilizando-se a metodologia de trincheiras. No entanto, como dito acima, a contribuição das raízes finas, com diâmetros igual ou inferiores a 5 mm, representam a maior parte da biomassa subterrânea, e como os testemunhos coletam estas raízes de forma representativa, e que em alguns casos tende a superestimar a biomassa deste compartimento (como visto na figura 5 e 6), compensa a subestimativa das raízes mais grossas. Assim, no geral, a estimativa da biomassa total por este método não possui diferença significativa em relação a trincheira.

Figura 13 - Estimativa do estoque de carbono de cada classe de diâmetro das raízes em cada estrato nas florestas de franja, com base em amostragem de testemunhos.



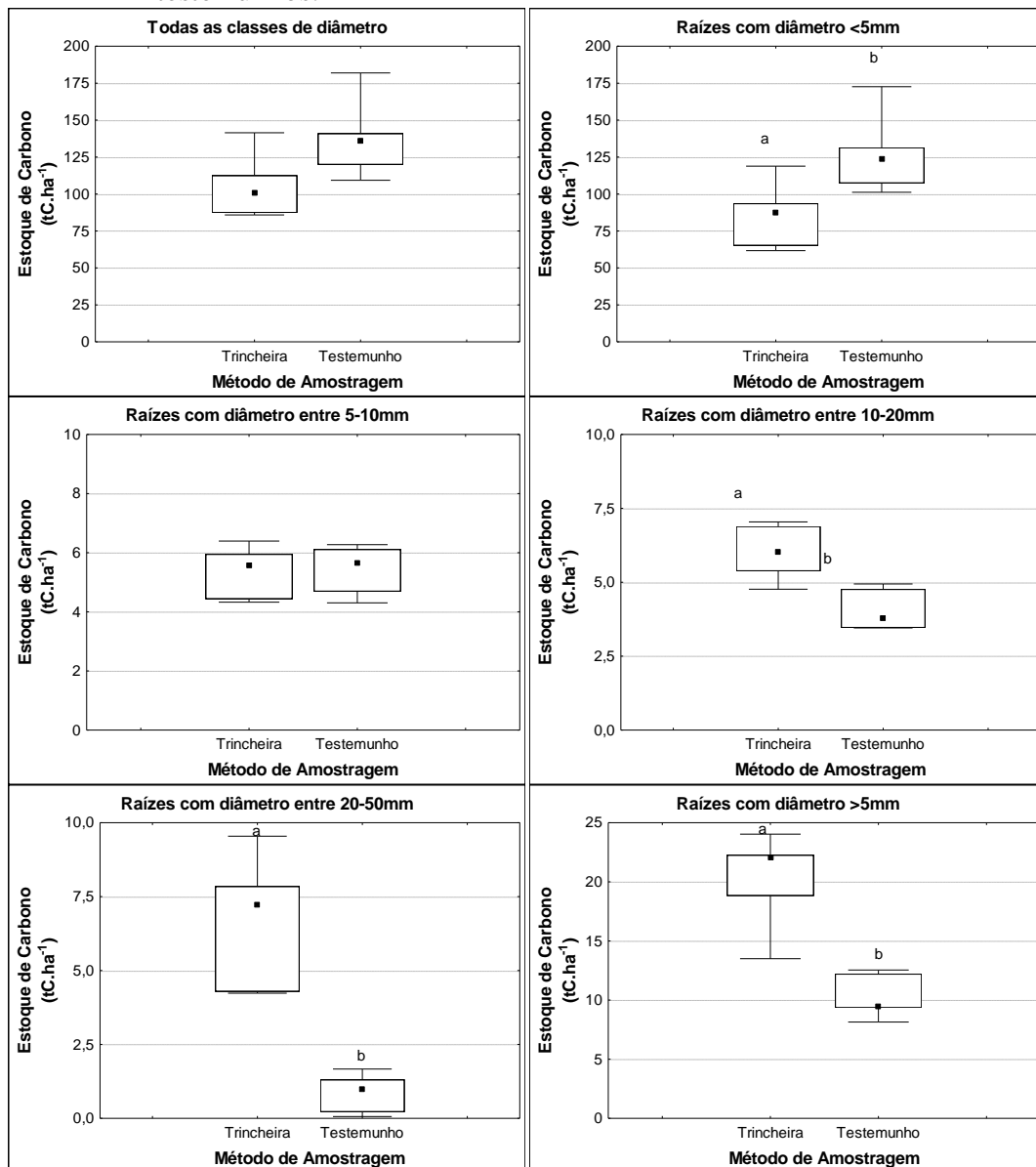
Legenda: (A) - Valor médio do estoque de carbono; (B) - contribuição (%) no estoque de carbono de cada classe de diâmetro das raízes em cada estrato.

Figura 14 - Estimativa do estoque de carbono de cada classe de diâmetro das raízes em cada estrato nas florestas de bacia, com base em amostragem de testemunhos.



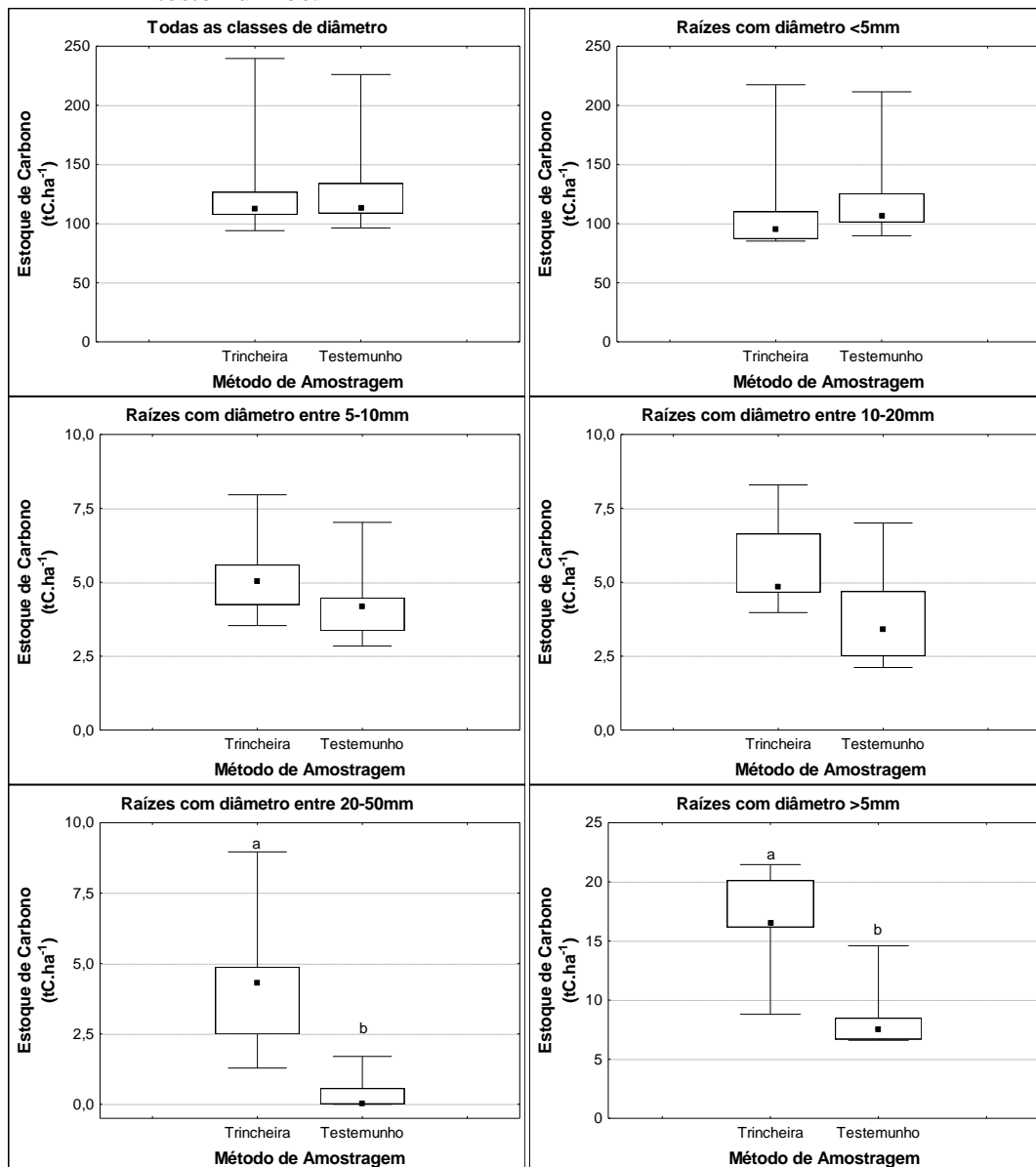
Legenda: (A) - Valor médio do estoque de carbono; (B) - contribuição (%) no estoque de carbono de cada classe de diâmetro das raízes em cada estrato.

Figura 15 - Valores de estoque de carbono na biomassa subterrânea da floresta de franja utilizando os métodos de amostragem por trincheiras e testemunhos.



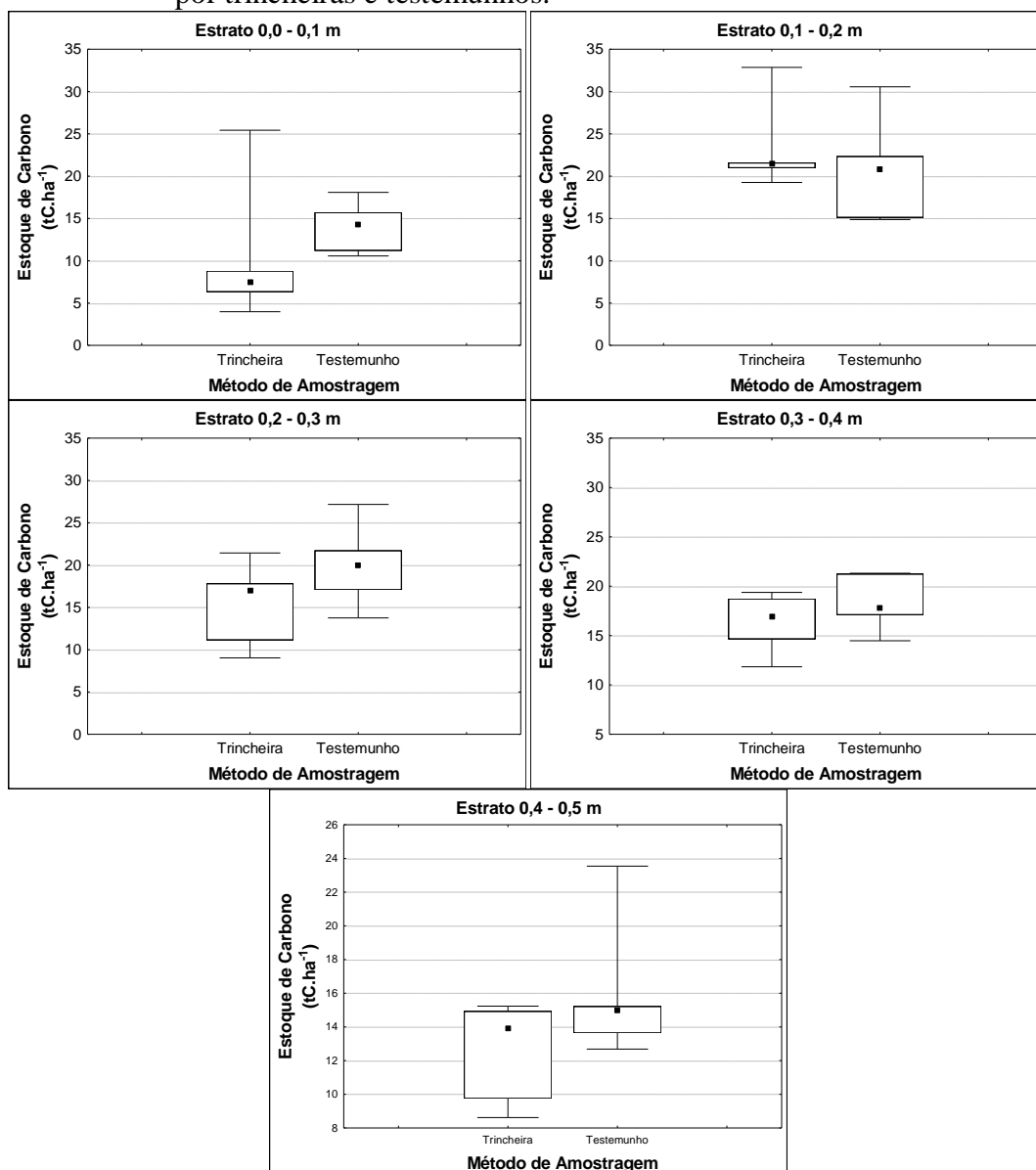
Legenda: As letras em cima das barras indicam diferença estatística significativa ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$) no teste não-paramétrico U de Mann-Whitney.; ■ Mediana □ 25%-75% ┆ Min-Max.

Figura 16 - Valores de estoque de carbono na biomassa subterrânea da floresta de bacia utilizando os métodos de amostragem por trincheiras e testemunhos.



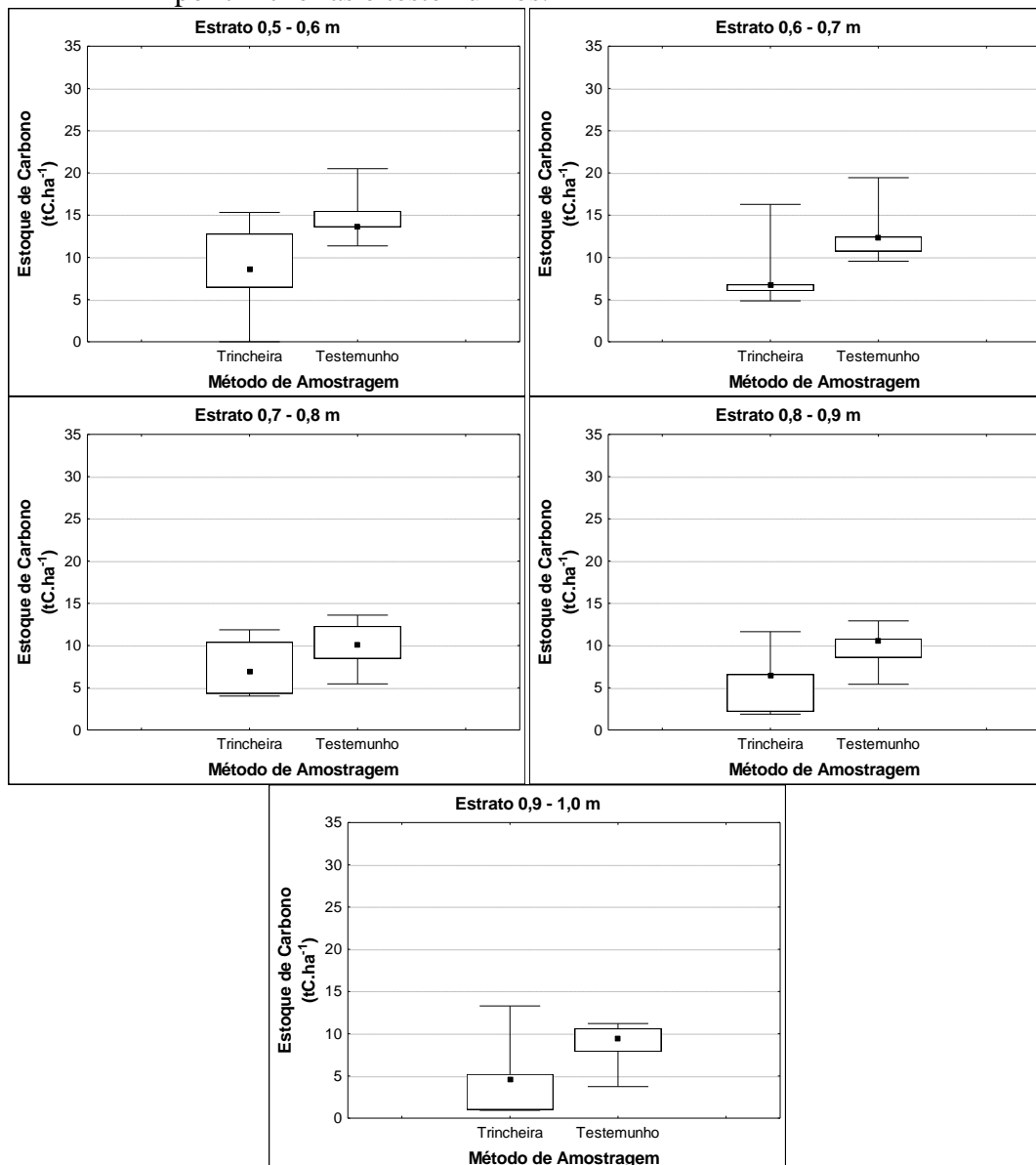
Legenda: As letras em cima das barras indicam diferença estatística significativa ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$) no teste não-paramétrico U de Mann-Whitney. ■ Mediana □ 25%-75% ┆ Min-Max.

Figura 17 - Comparação dos valores de estoque de carbono nos cinco primeiros estratos das florestas de franja utilizando os métodos de amostragem por trincheiras e testemunhos.



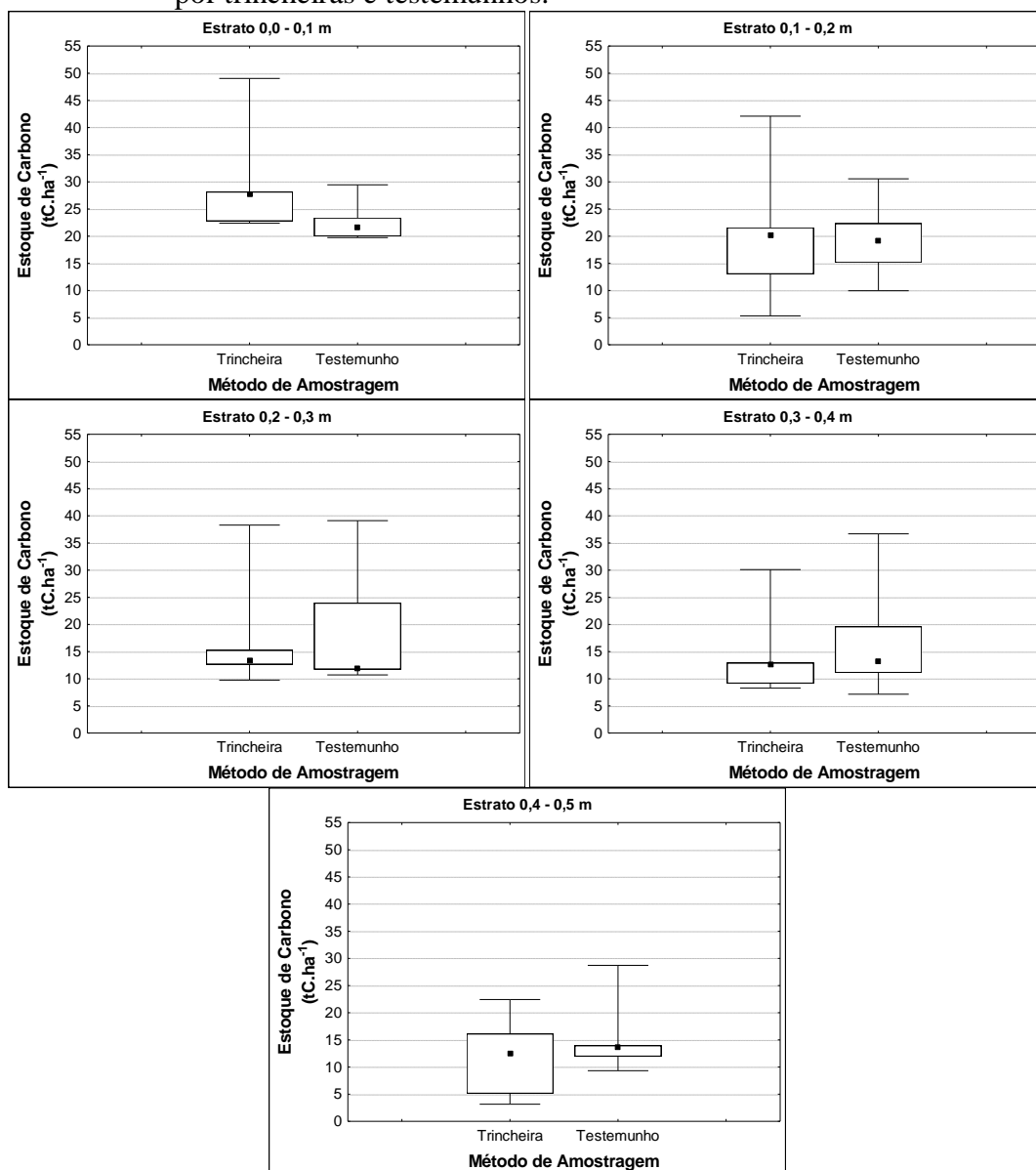
Legenda: O teste não-paramétrico U de Mann-Whitney não apresentou diferença estatística significativa ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$); ■ Mediana □ 25%-75% ⊥ Min-Max.

Figura 18 - Comparação dos valores de estoque de carbono nos cinco últimos estratos das florestas de franja utilizando os métodos de amostragem por trincheiras e testemunhos.



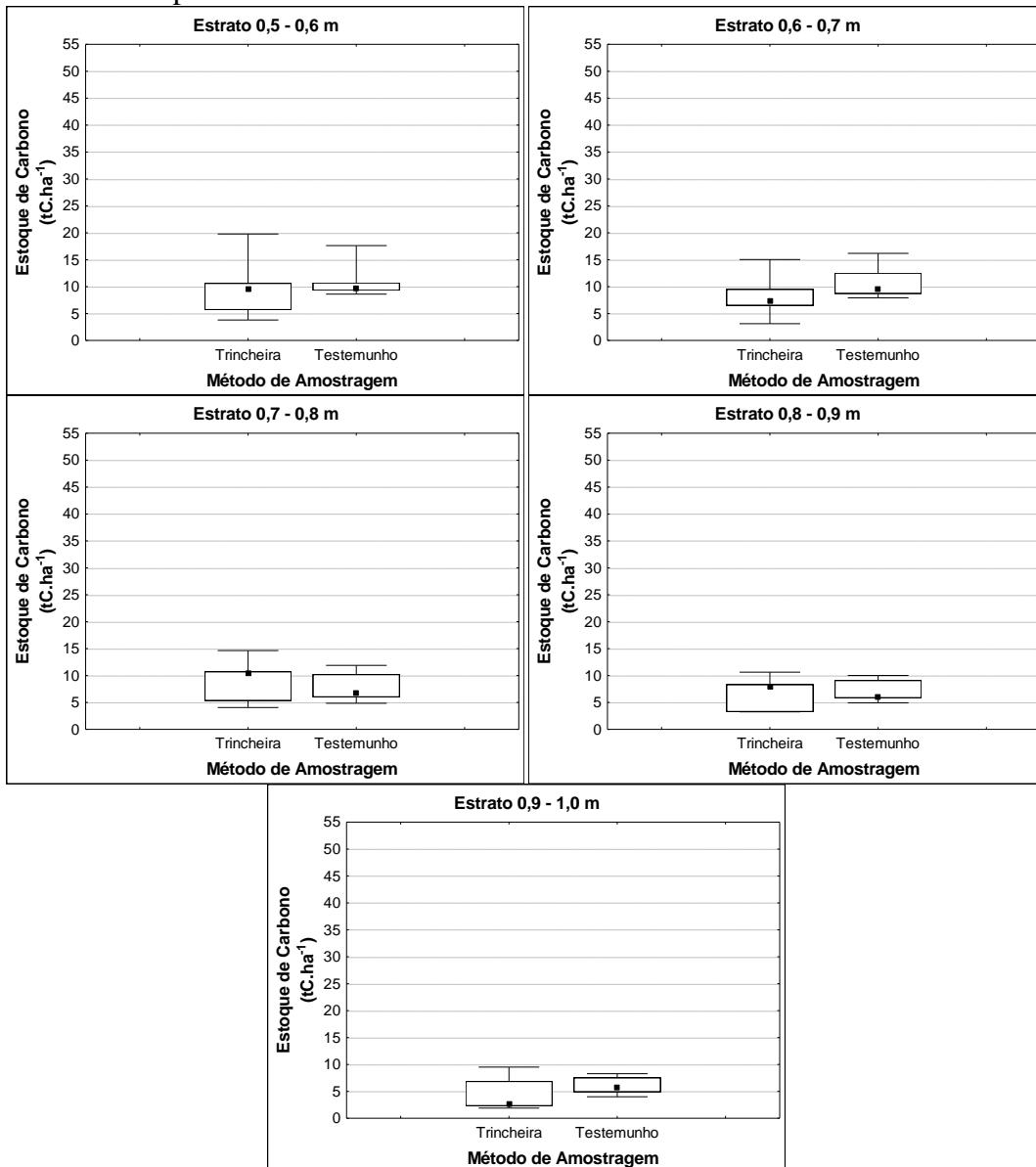
Legenda: O teste não-paramétrico U de Mann-Whitney não apresentou diferença estatística significativa ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$); ■ Mediana □ 25%-75% ⊥ Min-Max.

Figura 19 - Comparação dos valores de estoque de carbono nos cinco primeiros estratos das florestas de bacia utilizando os métodos de amostragem por trincheiras e testemunhos.



Legenda: O teste não-paramétrico U de Mann-Whitney não apresentou diferença estatística significativa ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$); ■ Mediana □ 25%-75% ⊥ Min-Max.

Figura 20 - Comparação dos valores de estoque de carbono nos cinco últimos estratos das florestas de bacia utilizando os métodos de amostragem por trincheiras e testemunhos.



Legenda: O teste não-paramétrico U de Mann-Whitney não apresentou diferença estatística significativa ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$); ■ Mediana □ 25%-75% ⊥ Min-Max.

Tabela 17 - Resultado do teste U de Mann-Whitney para a comparação entre as metodologias de amostragem para estimativa do estoque de carbono, considerando-se as diferentes classes de diâmetro nas florestas de franja e bacia.

Classes (mm)	Franja			Bacia		
	U	Z	p	U	Z	p
Total	5,000	-1,567	0,117	11,000	-0,313	0,754
<5	2,000	-2,193	0,028*	9,000	-0,731	0,465
5-10	12,000	-0,104	0,917	7,000	1,149	0,251
10-20	1,000	2,402	0,016*	6,000	1,358	0,175
20-50	0,000	2,611	0,009*	1,000	2,402	0,016*
>5	0,000	2,611	0,009*	1,000	2,402	0,016*

Tabela 18 – Resultado do teste U de Mann-Whitney para a comparação entre as metodologias de amostragem para estimativa do estoque de carbono, considerando-se os diferentes estratos nas florestas de franja e bacia.

Estrato (m)	Franja			Bacia		
	U	Z	p	U	Z	p
0,0-0,1	5,000	-1,567	0,117	6,000	1,358	0,175
0,1-0,2	9,000	0,731	0,465	50,000	0,000	1,000
0,2-0,3	6,000	-1,358	0,175	12,000	0,104	0,917
0,3-0,4	8,000	-0,940	0,347	10,000	-0,522	0,602
0,4-0,5	8,000	-0,940	0,347	10,000	-0,522	0,602
0,5-0,6	4,000	-1,776	0,076	10,000	-0,522	0,602
0,6-0,7	4,000	-1,776	0,076	7,000	-1,149	0,251
0,7-0,8	7,000	-1,149	0,251	11,000	0,313	0,754
0,8-0,9	6,000	-1,358	0,175	11,000	-0,313	0,754
0,9-1,0	7,000	-1,149	0,251	8,000	-0,940	0,347

3.4 Considerações finais

O método de amostragem por testemunhos é o mais utilizado e indicado para a realização de inventários do estoque de carbono na biomassa subterrânea, e vem sendo utilizado em larga escala. Este método proporciona uma amostragem bem mais fácil, rápida e prática em relação às escavações por trincheiras, apresentando um ótimo custo benefício logístico. Todavia, até o momento, a eficácia desse método e sua confiabilidade para a realização de tais estimativas em florestas de mangue, ainda não haviam sido testadas.

Os testemunhos não conseguem coletar raízes com diâmetros maiores de 50 mm, sendo a maior classe de diâmetro amostrada por este método é a classe de diâmetro com raízes maiores que 20 mm e menores e igual a 50 mm. No entanto como a maior parte da biomassa subterrânea, e conseqüentemente, do estoque de carbono armazenado na mesma, é composta por raízes com diâmetros inferiores a 5 mm (como podemos comprovar utilizando a metodologia de trincheiras) e como este compartimento é coletado pelos testemunhos, não foi observada diferença estatística significativa para os valores de estoque de carbono total entre os dois métodos, tanto para florestas de franja, quanto para florestas de bacia.

Embora esta classe de raízes, com menos de 5 mm de diâmetro, possua uma distribuição predominante (mais de 50%) tanto horizontalmente e verticalmente também não foi observado diferença significativa entre os métodos para as estimativas de estoque de carbono para os estratos.

Embora haja diferença significativa entre os métodos para as estimativas de estoque nas raízes mais grossas (com diâmetro superior a 10 mm e menor ou igual a 20 mm para a franja e maiores que 20 mm e menores ou igual a 50 mm para franja e bacia), esta diferença deve-se principalmente a dificuldade de coletar estas raízes. O que pode prejudicar algumas estimativas se estas classes de diâmetro comporem a maior parte da biomassa subterrânea de uma floresta de mangue.

Embora ambos os métodos colem a biomassa de raízes manualmente, o método de testemunho, mesmo que mais prático e rápido, possui maiores limitações de aplicação. Como não é possível cortar ou remover o sedimento de raízes mais grossas

para retirá-las, caso o objetivo seja o estudo dessa classe de diâmetro deve-se optar por outro método.

Assim, o balanço entre a subestimativa das raízes mais grossas, que possuem uma pequena contribuição na biomassa subterrânea, com a superestimativa das raízes mais finas, que possuem a maior contribuição na biomassa subterrânea, fazendo com que haja um equilíbrio e que não exista diferença significativa entre os valores de estoque estimado pelos dois métodos. No entanto limitações nas estimativas de estoque de carbono na biomassa subterrânea podem ser mascaradas por esta limitação na amostra.

4 DISCUSSÃO GERAL

A biomassa subterrânea que tem sido objeto de estudo de alguns, porém ainda poucos estudos, principalmente na última década, tem uma grande contribuição na biomassa total bem como no estoque de carbono em florestas de mangue. Donato *et al* (2011) e Kauffman *et al* (2011) mostraram que o estoque de carbono na biomassa aérea dos manguezais é similar a biomassa de outros sistemas florestais de terra firme, porém quando inserido o estoque de carbono na biomassa subterrânea, as florestas de mangue superam o estoque de carbono observado por hectare nesses outros sistemas.

Uma das funções que os sistemas florestais podem realizar é a de sequestrar e estocar carbono na sua biomassa, que em função da grande quantidade de biomassa nestes sistemas aumenta a importância desta função (Vieira *et al.*, 2008; Guo *et al.*, 2010). Recentemente tem crescido também a preocupação com o aumento das emissões e acúmulo de gases de efeito estufa e suas respectivas implicações nas possíveis mudanças climáticas do globo terrestre (IPCC, 2007; 2014). Como estocadoras e sequestradoras de carbono, em função da absorção de dióxido de carbono, um dos principais GEE, as florestas tem recebido especial atenção (Silveira *et al.*, 2008). A quantificação do carbono nos ecossistemas tropicais tem recebido mais atenção nas últimas décadas (e.g. Fearnside *et al.*, 1999; Harris *et al.*, 2012; Zarin, 2012, Aryal *et al.*, 2014; Lung e Espira, 2015), pois tanto a preservação dos mesmos pode levar a mitigação das emissões em função do acúmulo de GEE, como a destruição pode levar à perda destas funções e aumento das emissões (Harris *et al.*, 2012; Zarin, 2012). Provavelmente a combinação do exposto acima tenha contribuído para o aumento de estudo da biomassa florestal.

Assim, o objetivo desta tese, que foi o de fornecer as primeiras estimativas de estoque de carbono na biomassa subterrânea de florestas de mangue do Brasil, bem como o de verificar a eficiência e a viabilidade do método de testemunho, para proporcionar o acesso mais rápido e fácil à biomassa subterrânea como alternativa do método de trincheiras. Estes dois objetivos foram atingidos nos Capítulos 2 e 3 respectivamente. Também foi verificada toda bibliografia que apresenta informações sobre a biomassa subterrânea em florestas de mangue, realizando uma catalogação dos

estudos e analisando os resultados expostos por estes autores. Esses objetivos foram atingidos no Capítulo 1.

A média global de biomassa subterrânea em florestas de mangue é de $181,8 \text{ t.ha}^{-1}$, e de estoque de carbono é de 75 tC.ha^{-1} . Utilizando como base a área mapeada por Giri *et al* (2011) de 137.760.000 ha, podemos estimar o estoque de carbono global, na biomassa subterrânea das florestas de mangue, em 10,33 PgC. De acordo com Donato *et al* (2011) o estoque de carbono global nas florestas de mangue pode ser de até 20 PgC e sendo assim o estoque na biomassa subterrânea corresponde a cerca de 50%. Esta contribuição está de acordo com a média da razão entre a biomassa subterrânea e aérea que é de 0,94, onde a mínima foi de 0,02 (Zhila *et al*, 2014) e 5,11 (Abohassan *et al*, 2012). A relação entre a biomassa subterrânea e biomassa aérea embora significativa, teve um baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,5366$; $p < 0,05$). Matsui (1998) e Ray *et al* (2011) também analisaram a relação entre estes dois componentes da biomassa, porém ambos encontraram coeficientes mais altos e significativos ($R^2 = 0,986$, $p < 0,05$ e $R^2 = 0,974$, $p < 0,05$ respectivamente), porém Matsui (1998) fez esta relação para uma única espécie, *R. stylosa*.

Como foi apresentado no capítulo I, há uma tendência de aumento destes valores em latitudes menores, entre 0° e 10° e redução para latitudes maiores que 25° . Esta mesma tendência também é observada para a biomassa aérea de acordo com Estrada (2013). Tanto a média do estoque de carbono, quanto a biomassa subterrânea encontradas nas florestas de mangue de franja e bacia da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba encontram-se dentro da faixa de variação latitudinal, o maior valor encontrado é superior ao da média da faixa latitudinal. No entanto, a média da biomassa subterrânea e do estoque de carbono da bacia foi maior do que a da franja, porém a diferença não foi estatisticamente significativa. Vários autores mostram que estes valores podem ser influenciados por diversos fatores tais como posição da floresta em relação ao corpo hídrico (Kauffman *et al*, 2011), salinidade (Saintilan, 1997; Bernstein e Kafkafi, 2002) e a localização da floresta, como florestas localizadas em estuários ou na linha de costa (Donato *et al*, 2011).

A maior parte (cerca de 55%) do estoque de carbono na biomassa subterrânea, das florestas estudadas nesta tese, estão localizados nos primeiros 0,5 m de profundidade do sedimento. O armazenamento do estoque de carbono na biomassa subterrânea está praticamente concentrada nas primeiras camadas da superfície, em

geral nos primeiros 0,3 – 0,5 m de profundidade (Matsui, 1998; Khan *et al*, 2007; Tamooh *et al*, 2008). Da mesma forma que existe um padrão em relação à profundidade, também existe um padrão em relação ao estoque nas diferentes classes de diâmetro das raízes. Nesta tese a maior parte, cerca de 80%, do estoque estão localizados nas raízes com diâmetros inferiores ou igual a 5 mm. Outros autores também mostram que as raízes com diâmetros inferiores ou igual a este representam mais de 50 % de toda a biomassa subterrânea e respectivo estoque de carbono (Komiyaama *et al*, 1987) enquanto outros relatam uma contribuição semelhante a do presente estudo, somente quando considerado diâmetro igual ou inferior a 20 mm (Tamooh *et al*, 2008).

Os dados utilizados para estimar o estoque de carbono vieram de escavações de trincheiras e foram utilizados como base para comparação e verificação da viabilidade e validade da metodologia de testemunhos, permitindo estimar a biomassa e o estoque subterrâneos com menos gasto de tempo e de equipe. A metodologia de testemunho utilizada não coleta raízes mais grossas, com mais de 50 mm, coletando principalmente raízes mais finas, em função da dificuldade de rompê-las. Embora haja uma limitação nas classes de tamanho das raízes amostradas pelo testemunho, não foi encontrada uma diferença estatística significativa entre as estimativas de biomassa subterrânea utilizando amostragens por trincheiras e amostragens por testemunhos.

De acordo com Komiyaama *et al* (1987) as raízes mais finas possuem uma distribuição homogênea no sedimento, tanto verticalmente, como horizontalmente. Como estas raízes também correspondem a mais de 80% da biomassa subterrânea e seu respectivo estoque, e é esta classe, a de raízes finas, que o testemunho coleta sem nenhuma perda, isto pode explicar a ausência de diferença estatística significativa. Como esta é uma das metodologias mais usadas, a validação da mesma é importante para o desenvolvimento de novos estudos, dispensando a utilização de metodologias mais complexas.

Neste estudo, assim como em outros, a profundidade utilizada para mensurar o estoque de carbono, tanto com a metodologia de trincheiras como a metodologia de testemunho, foi a de um metro. Esta profundidade é semelhante a outros estudos (Komiyaama *et al*, 1987; Donato *et al*, 2011), este método também é sugerido pela iniciativa “Blue Carbon” para acessar o compartimento da biomassa subterrânea para

gerar estimativas de estoque de carbono neste compartimento e o manual desenvolvido pela iniciativa também sugere a profundidade de um metro (Howard *et al*, 2014).

CONCLUSÕES

Com o aumento das pesquisas sobre as mudanças climáticas globais junto aumentaram as pesquisas que procuram tanto entender como estas mudanças poderão se dar, como aquelas dedicadas a entender os processos que podem reduzir de forma direta ou indireta ou agravar os efeitos destas mudança. Neste contexto o estudo sobre as florestas com objetivos de conhecer sua dinâmica, seus compartimentos e sua ecologia em função de entender tanto como estas podem ser afetadas por estas mudanças, como também como estas florestas participam das mesmas, seja intensificando estas mudanças em função da sua redução ou minimizando os efeitos ou a própria mudança em função da sua conservação e preservação como podemos ver nos capítulos desta tese.

Assim, esta tese se propôs a entender como funcionam, especificamente, as florestas de mangue, mas não de uma maneira geral e sim mais especificamente a parte subterrânea de sua biomassa. Calcular a biomassa de raízes subterrâneas e o estoque de carbono associado foi seu principal objetivo e com isto elucidar uma lacuna nos estudos e nos dados disponíveis sobre estes sistemas da costa sul americana.

A variação da biomassa subterrânea e do estoque de carbono a ela associado pode variar em função de diversos fatores, tais como posição no globo terrestre, posição em relação ao corpo hídrico, frequência de inundação pelas marés, salinidade e esta variação também ocorre na razão entre a biomassa subterrânea e aérea. A maior parte (cerca de 60%) da biomassa e respectivo estoque de carbono, é composta por raízes finas. A maior parte (mais de 50%) em geral é encontrada nas camadas mais superficiais com até 0,5 m de profundidade.

A média do estoque de carbono na biomassa subterrânea das florestas de mangue da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba foi de $105,84 \pm 22,73 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ na franja e de $136,08 \pm 59,05 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ e na bacia. Assim, levando em consideração que a área total de florestas de mangue da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba é de 1.881 ha, que as florestas de franja ocupam uma área de 304 ha e as de bacia 1.060 ha, dá um total de 246.703 tC estocado na biomassa subterrânea destas florestas de mangue. O estoque total na biomassa subterrânea corresponde a 60% de todo o estoque na

biomassa vegetal deste sistema. Esta maior contribuição da biomassa subterrânea para o estoque de carbono é bastante comum em florestas de mangue, o que confere uma grande importância para este componente. Embora exista uma diferença na quantidade de carbono estocada por hectare entre a franja e a bacia a mesma não é estatisticamente significativa. Em função da dificuldade de amostragem pelo método de trincheiras, a estimativa de estoque de carbono na biomassa de raízes subterrâneas, aqui apresentada, foi obtida através da escavação de 10 trincheiras, sendo 5 trincheiras na franja e 5 na bacia. Cada uma delas com um metro cúbico, o que totaliza 10 metros cúbicos de sedimento escavado, correspondendo a mais de 10 toneladas de sedimento.

A amostragem de raízes por trincheiras, embora seja uma das mais precisas, pois consegue recolher amostras de todos os tipos de raízes, vivas, mortas, finas e grossas, é ao mesmo tempo a mais trabalhosa e demorada. Diversos autores utilizam outras metodologias de amostragem direta e indireta para estimar os valores de biomassa deste compartimento.

Em função da grande dificuldade de amostragem com trincheiras e de possíveis desvios nas estimativas geradas através dos demais métodos de amostragem, foi realizada a comparação entre dois dos métodos de amostragem mais adotados: trincheiras e testemunhos. Não foi observada diferença estatística entre estes metodologias. Embora exista uma diferença visual nos valores absolutos amostrados, esta não foi estatisticamente significativa. Somente quando comparadas as raízes com diâmetros maiores que 5 mm é que esta diferença estatística significativa foi verificada. Ou seja, a hipótese que tínhamos, de que talvez os testemunhos fossem apresentar uma subestimativa da biomassa de raízes quando comparado com as trincheiras por não amostrar todas as classes, foi rejeitada e igualdade entre as metodologias foi aceita. Isto aumenta a confiança nos valores de estoque de carbono para manguezais, onde a metodologia utilizada foi a de testemunho.

No entanto, como dito anteriormente, em função das grandes dificuldades impostas para o acesso deste componente em qualquer sistema florestal, que por se tratar de compartimento subterrâneo, exige a retirada de centenas de quilos de sedimento para o estudo, esse compartimento é bem menos estudado e quantificado do que a parte aérea. Quando se trata de um ambiente com sedimento inconsolidado, como é o caso dos manguezais, mais difícil é esta tarefa e menos ainda são os estudos realizados. Quando olhamos a distribuição dos estudos para manguezais vemos uma

grande concentração destes na região Indo-Pacífica, com pouquíssimas estimativas fora desta região. Para o Brasil, este é o primeiro estudo que se dedica a estudar este compartimento e estimar o estoque de carbono no mesmo, dando um salto na qualidade da estimativa do estoque de carbono em manguezais da costa brasileira.

Com isso, esperamos mostrar que não existe necessidade de se fazer novas trincheiras, reduzindo as dificuldades logísticas e os custos para a obtenção de resultados confiáveis para as estimativas de biomassa subterrânea e respectivo estoque de carbono em florestas de mangue. Além de apresentar valores inéditos de biomassa subterrânea e estoque de carbono para a costa brasileira, a comparação metodológica valida tanto as estimativas realizadas por vários autores, como os protocolos propostos para inventariar este compartimento.

REFERÊNCIAS

- Abohassan RAA, Okia CA, Agea JG, Kimondo JM, McDonald MM. 2012. Perennial Biomass Production in Arid Mangrove Systems on the Red Sea Coast of Saudi Arabia. *Environmental Research Journal* 6(1):22-31.
- Almeida PMM, Soares M LG, Estrada GCD, Cruz CBM, Fernandez V. 2014. Mapping physiographic types of mangrove forests through the object-based classification method. *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*. 3(2). 425-428 2014
- Alongi MD, Clough FB, Dixon P, Tirendi F. 2003. Nutrient partitioning and storage in arid-zone forests of the mangroves *Rhizophora stylosa* and *Avicennia marina*. *Trees*. 17:51-60.
- Alongi MD, Wattayakorn G, Pfitzner J, Tirendi F, Zagorskis I, Brunskill GJ, Davidson A, Clough F.B. 2001. Organic carbon accumulation and metabolic pathways in sediments of mangrove forests in southern Thailand. *Marine Geology*. 179:85-103.
- Amarasinghe MD, Balasubrananiam S. 1992. Net primary productivity of two mangrove forests stands on the northwestern coast of Sri Lanka. *Hydrobiologia*. 247:37-47.
- Aryal DR, Bernardus HJJ, Ochoa-Gaona S, Esparza-Olguin L, Mendoza-Vega J. 2014. Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 195: 220–230.
- Asaeda T, Kalibbala M. 2009. Modelling growth and primary production of the marine mangrove (*Rhizophora apiculata* BL): A dynamic approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 371:103-11.
- Bernstein N, Kafkafi U. 2002. Root Growth Under Salinity Stress. In: *Plant Roots: The Hidden Half*. Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U [Eds]. Marcel Dekker. P787-805.
- Boscolo M, Buongiorno J. 1997. Managing a tropical rainforest for timber, carbon storage and tree diversity. *Commonwealth Forestry Review*. 76(4):246-254.
- Bouillon S, Borges AV, Castañeda-Moya E, Diele K, Dittmar T, Duke NC, Kristensen E, Lee SY, Marchand C, Middelburg JJ *et al.* 2008. Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles*. 22:1-12.
- Briggs SV. 1977. Estimates of biomass in a temperate mangrove community. *Australian Journal of Ecology* 2:369–373.
- Brown S, Gillespie AJR, Lugo AE. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*. 35(4):881-902.
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Rome: FAO 55 p.

- Brown S., Lugo AE, Iverson LR. 1992. Processes and lands for sequestering carbon in the tropical forest landscape. *Water, Air, and Soil Pollution* 64:139-155.
- Cairns MA, Brown S, Helmer EH, Baumgardner GA. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11.
- Castañeda-Moya E, Twilley RR, Rivera-Monroy VH, Marx BD, Coronado-Molina C, Ewe SML. 2011. Patterns of Root Dynamics in Mangrove Forests Along Environmental Gradients in the Florida Coastal Everglades, USA. *Ecosystems* 14: 1178-1195.
- CEBDS Conselho Empresarial Brasileiro Para o Desenvolvimento Sustentável. 2002. Rio de Janeiro: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. 35 p.
- Cenamo MC, Pavan MN, Barros AC, Carvalho F. 2010. Guia sobre projetos de REDD+ na América Latina. Manaus, Brasil. 96p.
- Chalermchatwilai B, Pongparn S, Patanaponpaiboon P. 2011. Distribution of fine-root necromass in a secondary mangrove forest in Trat province, Eastern Thailand. *Science Asia*. 37:1-5.
- Christensen B. 1978. Biomass and primary production of *Rhizophora apiculata* B1. in a mangrove in southern Thailand. *Aquatic Botany* 4:43-52.
- Cintron G, Schaeffer-Novelli Y. 1984. Methods for studying mangrove structure. In: *The mangrove ecosystem: Research Methods*. UNESCO, Bungay, United Kingdom.
- Clough BF, Attiwill PM. 1982. Primary productivity of mangroves. In: *Mangrove ecosystems in: Australia: Structure, function and management*. Eds. BF Clough. Australian National University Press. Canberra. p213-222.
- Clough BF, Scott K. 1989. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *Forest Ecology and Management*. 27(2):117-127.
- Clough BF. 1998. Mangrove forest productivity and biomass accumulation in Hinchinbrook Channel, Australia. *Mangroves and Salt Marshes*. 2:191-198.
- Clough BF. 1992. Primary productivity and growth of mangrove forests. In *Tropical mangrove Ecosystems*. Robertson AI e Alongi DM (eds.). American Geophysical Union Press, Washington: 225–250.
- Comley BWT, McGuinness KA. 2005. Above- and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian mangroves. *Australian Journal of Botany*. 53:431-436.
- Coronado-Molina C, Day JW, Reyes E, Prez BC. 2004. Standing crop and aboveground partitioning of a dwarf mangrove forest in Taylor River Slough, Florida. *Wetlands Ecology and Management*. 12:157-164.

- Day JW, Conner WH, Ley LF, Day RH, Navarro AM. 1987. The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Terminons, Mexico. *Aquatic Botany*. 27:267-284.
- Donato DC, Kauffman JB, Mackenzie RA, Ainsworth A, Pflieger AZ. 2012. Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of Environmental Management* 97:89-96.
- Donato DC, Kauffman JB, Murdiyarso D, Kurnianto S, Stidham M, Kanninen M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience* 4: 293-297.
- Estevam MRM. 2013. Dinâmica de colonização de uma planície hipersalina por espécies de mangue em Guaratiba, RJ. Dissertação de Mestrado. UERJ. 182p.
- Estrada GCD. 2009. Análise da variabilidade estrutural de florestas de mangue de Guaratiba, Rio de Janeiro – RJ. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 83p.
- Estrada GCD. 2013. Análise Espaço-Temporal do Sequestro e Estoque de Carbono na Biomassa Aérea de Manguezais. Tese de doutorado. UFRJ. 276 p.
- Estrada GCD, Callado CH, Soares MLG, Lisi CS. 2008. Annual growth rings in the mangrove *Laguncularia racemosa* (Combretaceae). *Trees* 22(5):663-670.
- Estrada GCD, Soares MLG, Fernandez V, Almeida PMM. 2015. The economic evaluation of carbon storage and sequestration as ecosystem services of mangroves: a case study from southeastern Brazil. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 11(1):29-35.
- Estrada GCD, Soares MLG, Chaves FO, Cavalcanti VF. 2015. Analysis of the structural variability of mangrove forest through the physiographic types approach. *Aquatic Botany*, 111: 135-143
- Fearnside PM, Graça PMLA, Leal Filho N, Rodrigues FJA, Robinson JM. 1999. Tropical forest burning in Brazilian Amazonian: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *Forest Ecology and Management*. 123(1):65-79.
- Fernandez, V. PARA ONDE VAMOS COM O SEQUESTRO DE CARBONO? A rede sociotécnica do carbono assimilado por manguezais. Tese de doutorado. UERJ. 464p.
- Fromard F, Puig H, Mougín E, Marty G, Betoulle JL, Cadamuro L. 1998. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia*. 115:39-53
- Fujimoto K. 1999. Belowground carbon storage of Micronesian mangrove forests. *Ecological Research*. 14:409-413.

- Gibbs HK, Brown S, Niles JO, Foley JA. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2:1-13.
- Giri C, Ochieng E, Tieszen LL, Zhu Z, Singh A, Loveland T, Masek J, Duke N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*. 20(1):154-159.
- Givnish TJ. 1988. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. *Australian Journal of Plant Physiology* 15:63-92.
- Golley F, Odum HT, Wilson R. 1962. The structure and metabolism of a Puerto Rican red mangrove forest in May. *Ecology*. 43:9-19.
- Golley FB, Mcginnis JT, Clements RG, Child GI, Duever MJ. 1975. *Mineral Cycling in a Tropical Moist Forest Ecosystem*. Georgia Univ. Press, Athens.
- Gong WK, Ong JE. 1990. Plant Biomass and Nutrient Flux in a Managed Mangrove Forest in Malaysia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 31: 519 – 530.
- Guo Z, Fang J, Pan Y, Birdsey R. 2010. Inventory-based estimates of forest biomass carbon stocks in China: A comparison of three methods. *Forest Ecology and Management* 259:1225–1231.
- Harris NS, Brow S, Hagen SC, Saatchi SS, Salas W, Hasen MC, Potapov PV, Lotsch A. 2012. Baseline map of Carbon Emission from Deforestation in Tropical Regions. *Science* 336(6088):1573-1576.
- Howard J, Hoyt S, Isensee K, Pidgeon E, Telszewski M. 2014. *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.
- INEA. 2014. Unidades de Conservação da Natureza (UCs) . Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/BIODIVERSIDADEEAREASPROTEGIDAS/UnidadesdeConservacao/index.htm&lang=>>>. Acessado em: 06 de novembro de 2014.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for policymakers*. Contribution of working group I to the Fourth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 18 p.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPP, Instituto Pereira Passos. 2014. Bairros Cariocas. Disponível em: <<http://portalgeo.rio.rj.gov.br/bairroscariocas/>>. Acessado em: 06 de novembro de 2014.

Jennerjahn TC, Ittekkot V. 2002. Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturewissenschaften*. 89, 23–30.

Kauffman JB, Heider C, Cole TG, Dwire KA, Donato DC. 2011. Ecosystem Carbon Stocks of Micronesian Mangrove Forests. *Wetlands*. 31:343-352.

Khan MNI, Suwa R, Hagihara A. 2007. Carbon and nitrogen pools in a mangrove stand of *Kandelia obovata* (S., L.) Yong: vertical distribution in the soil–vegetation system. *Wetlands Ecology and Management*. 15:141-153.

Khan MNI, Suwa R, Hagihara A. 2009. Biomass and aboveground net primary production in a subtropical mangrove stand of *Kandelia obovata* (S., L.) Yong at Manko Wetland, Okinawa, Japan. *Wetlands Ecology and Management* 17(6): 585-599.

Komiyama A, Havanond S, Srisawatt W, Mochida Y, Fujimoto K, Ohnishi T, Ishihara S, Miyagi T. 2000. Top/root biomass ratio of a secondary mangrove (*Ceriops tagal* forest). *Forest Ecology and Management*. 139:127-134.

Komiyama A, Jintana V, Sangtjean T, Kato S. 2002. A common allometric equation for predicting stem weight of mangroves growing in secondary forests. *Ecological Research*. 17:415-418.

Komiyama A, Moriya H, Prawiroatmodjo S, Toma T, Ogino K. 1988. Forest primary productivity. In: Ogino, K., Chihara, M. (Eds.), *Biological System of Mangrove*. Ehime University. p.97–117.

Komiyama A, Ogino K, Aksornkoae S, Sabhasri S. 1987. Root biomass of a mangrove forest in southern Thailand. 1. Estimation by the trench method and the zonal structure of root biomass. *Journal of Tropical Ecology*. 3:97-108.

Komiyama A, Ong JE, Pongparn S. 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany* 89: 128–137

Komiyama A, Pongparn S, Kato S. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*. 21:471-477.

Kusmana C, Sabiham S, Abe K, Watanabe H. 1992. An estimation of above ground tree biomass of a mangrove forest in east Sumatra, Indonesia. *Tropics*. 1:243-257.

- Kusmana C. 1997. An Estimation above and below-ground tree biomass of a mangrove forests in East Kalimantan, Indonesia. *Journal of Biological Resources Management*. 2(1): 20-26.
- Lugo A, Snedaker SC. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 5:39-64.
- Lung M, Espira A. 2015. The influence of stand variables and human use on biomass and carbon stocks of a transitional African forest: Implications for forest carbon projects. *Forest Ecology and Management* 351: 36–46.
- Mackey AP. 1993. Biomass of the mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh near Brisbane, south-eastern Queensland. *Australian Journal of Marine Freshwater Research*. 44(5):721-725.
- Magris RA, Barreto R. 2010. Mapping and assessment of protection of mangrove habitats in Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 5(4): 546-556.
- Matsui N. 1998. Estimated stocks of organic carbon in mangrove roots and sediments in Hinchinbrook Channel, Australia. *Mangroves and Salt Marshes*. 2:199-204.
- Millikin CS, Bledsoe CS. 1999. Biomass and distribution of fine and coarse roots from blue oak (*Quercus douglasii*) trees in the northern Sierra Nevada foothills of California. *Plant and Soil* 214:27-38.
- Murdiyarso D, Donato D, Kauffman JB, Kurnianto S, Stidham M, Kanninen M. 2009. Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems A preliminary account from plots in Indonesia. Ed. 48. Indonésia: Working Paper. 37p.
- Okimoto Y, Akihiro N, Keiko I, Sakae A, Yutaka T, Takashi I, Dang DN. 2008. An estimation of CO₂ fixation capacity in mangrove forest using two methods of CO₂ gas exchange and growth curve analysis. *Wetlands Ecology Management*. 16:155-17.
- Oliveira RR. 2010. As marcas do homem na floresta: história ambiental de um trecho urbano de mata atlântica. Ed. PUC-Rio. 230p.
- Ong JE, Khoon GW, Clough BF. 1995. Structure and Productivity of a 20-Year-Old Stand of *Rhizophora apiculata* Bl. Mangrove Forest. *Journal of Biogeography*. 22:417-424.
- Ong JE, Khoon GW, Wong CH. 2004. Allometry and partitioning of the mangrove, *Rhizophora apiculata*. *Forest Ecology and Management*. 188 395-408.
- Ovington JD. 1957. Dry-matter production by *Pinus sylvestris* L. *Annals of Botany* 21:287-314.
- Patterson CS, Mendelsohn IA, Swenson EH. 1993. Growth and survival of *Avicennia germinans* seedlings in a mangal/salt marsh community in Louisiana,U.S.A. *Journal of Coastal Research* 9 (3): 801-810.

Pearsson HA. 2002. Root Systems of Arboreal Plants. In: Plant Roots: The Hidden Half. Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U [Eds]. Marcel Dekker. P787-805.

Pelletier J, Kirby KR, Potvin C. 2010. Significance of carbon stocks uncertainties on emission reduction from deforestation and forest degradation in developing countries. *Forest Policy and Economics*. Acessado em 10 de julho 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2010.05.005>>

Petersson, H. e Melin, Y.. 2010. Estimating the biomass and carbon pool of stump systems at a national scale. *Forest Ecology and Management* 260: 466–471.

Pool DJ, Lugo AE, Snedaker SC. 1977. Litter production in mangrove forests of southern Florida and Puerto Rico. In: Walsh, G.E., Snedaker, S.C., Teas, H.J. (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves*, vol. 2. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville. p.213–237.

Poungparn S, Komiyama A, Jintana V, Piriyaota S, Sangtiew T, Tanapermpool P, Patanaponpaiboon P, Kato S. 2002. A Quantitative Analysis on the Root System of a Mangrove. *Xylocarpus granatum* Koenig. *Tropics*. 12(1):35-42.

Putz FE, Chan HT. 1986. Tree growth, dynamics and productivity in a mature mangrove forest in Malaysia. *Forest Ecology Management*. 17:21-230.

Raven PH, Evert RF, Eichorn SE. 2007. *Biologia Vegetal*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan S.A. 7ª ed. 830p.

Ray R, Ganguly D, Chowdhury C, Dey M, Das S, Dutta MK, Mandal SK, Manjunder N, De TK, Mukhopadhyay SK, et al. 2011. Carbon sequestration and annual increase of carbon stock in a mangrove forest. *Atmospheric Environment*. 45(28):5016-5024.

Rodrigues DP, Hamacher C, Estrada GCD, Soares MLG. 2014. Variability of carbon content in mangrove species: Effect of species, compartments and tidal frequency. *Aquatic Botany* 120:346-351.

Reich PB. 2002. Root–Shoot Relations: Optimality in Acclimation and Adaptation or the ‘Emperor’s New Clothes’?. In: Plant Roots: The Hidden Half. Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U [Eds]. Marcel Dekker. p 205-220.

Saatchi SS, Harris NL, Brown S, Lefsky M, Mitchard ETA, Salas W, Zutta BR, Buermann W, Lewis SL, Hagen S, Petrova S, White L, Silman M, More A. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *PNAS*, 108(24): 9899–9904.

Saenger P, Snedaker SC. 1993. Pantropical trends in mangrove above ground biomass and annual litterfall. *Oecologia*. 9:293-29.

Saintilan N. 1997. Above- and below- ground biomasses of two species of mangrove on the Hawkesbury River estuary, New South Wales. *Marine and Freshwater Research*. 48(2):147-152.

- Sanquetta CR. 2002. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: As florestas e o carbono. Curitiba. 119-140.
- Schaeffer-Novelli Y, Cintron G. 1986. Guia para estudo de áreas de manguezal - estrutura, função e flora. São Paulo. Caribbean Ecological Research. 150p.
- Schaeffer-Novelli Y, Cintrón-Molero G, Soares MLG, de-Rosa T. 2000. Brazilian mangroves. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 3:561-570.
- Schaeffer-Novelli Y, Cintron-Morelo G, Adaime RR, Camargo M. 1990. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian Coast. *Estuaries*. 13:204-218.
- Sherman ER, Fahey JT, Martinez P. 2003. Spatial Patterns of Biomass and Aboveground Net Primary Productivity in a Mangrove Ecosystem in the Dominican Republic. *Ecosystems*. 6:384-398.
- Shinozaki K, Yoda K, Hozumi K, Kira T, 1964b. A quantitative analysis of plant form - The pipe model theory II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology. *Japanese Journal of Ecology*. 14:133-139.
- Shinozaki K, Yoda K, Hozumi K, Kira T. 1964a. A quantitative analysis of plant form - The pipe model theory I. Basic analyses. *Japanese Journal of Ecology*. 14:97-105.
- Siikamaki J, Sanchirico JN, Jardine SL. 2012. Global economic potential for reducing carbon dioxide emissions from mangrove loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Acessado em 10 de agosto de 2012. Disponível: <www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1200519109>.
- Silveira P, Koehler HS, Sanquetta CR, Arce JE. 2008. O Estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações Florestais. *Floresta*. 38(1):185-206.
- Soares MLG, Schaeffer-Novelli Y. 2005. Above-ground biomass of mangrove species. I. Analysis of model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 65:1-18.
- Soares MLG. 1997. Estudo da biomassa aérea de manguezais do sudeste do Brasil e análise de modelos. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, Brasil. vol. 1.
- Soares PBS, Soares CPB, Paula Neto F, Souza AL. 2007. Dendrometria e Inventário Florestal. Universidade Federal de Viçosa. 276p.
- Soto-Pinto L, Anzueto M, Mendoza J, Ferrer GJ, Jong B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforest Syst*. 78:39-51.
- Souza-Filho, PWM. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica* 23(4): 427-435.

- Spalding M, Kainuma M, Collins L. 2010. World Atlas of Mangroves. The Nature Conservancy, International Society for Mangrove Ecosystems. 304p.
- Suzuki E, Tagawa H. 1983. Biomass of a mangrove forest and a sedge marsh on Ishigaki Island, south Japan. *Japanese Journal Ecology*. 33:231-234.
- Tabuchi R, Ogino K, Sabhasri S, Aksornkoe S. 1983. Fine root amount of mangrove forest - a preliminary survey. *Indian Journal of Plant Science* 1:31-41.
- Tamai S, Nakasuga T, Tabuchi R, Ogino K. 1986. Standing biomass of mangrove forests in southern Thailand. *Journal of the Japanese Forestry Society*. 68:384-388.
- Tamooch F, Huxhan M, Karachi M, Mencuccini M, Kairo JG, Kirui B. 2008. Below-ground root yield and distribution in natural and replanted mangrove forests at Gazi bay, Kenya. *Forest Ecology and Management*. 256:1290-1297.
- Tomilson PB. 1986. *The Botany of Mangrove*. Nova York(NY): Cambridge University Press. p 419.
- Twilley RR, Chen RH, Hagrís T. 1992. Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water, air and soil pollution* 64: 265 – 288.
- Vieira SA, Alves LF, Aidar M, Araújo LS, Baker T, Batista JLF, Campos MC, Camargo PB, Chave J, Delitti WBC, *et al.* 2008. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotropica* 8(2).
- Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U. 2002. *Plant Roots: The Hidden Half*. Marcel Dekker. 1091 p.
- Yanai RD, Park BB, Hamburg SP. 2006. The vertical and horizontal distribution of roots in northern hardwood stands of varying age. *Canadian Journal of Forest Research* 36:450–459.
- Zar JH. 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. p 662.
- Zarin DJ. 2012. Carbon of Tropical Deforestation. *Science* 336:1518-1519.
- Zhila H, Mahmood H, Rozainah MZ. 2014. Biodiversity and biomass of a natural and degraded mangrove forest of Peninsular Malaysia. *Environ Earth Science* 71: 4629 – 4635.