UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE DO RS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: AGRICULTURA E AMBIENTE

QUANTIFICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO ESTOQUE DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Jonathan William Trautenmüller

Frederico Westphalen, RS, Brasil.

2015

QUANTIFICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO ESTOQUE DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

Jonathan William Trautenmüller

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, Área de concentração Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Braulio Otomar Caron
Co-orientador: Prof. Dr. Rafaelo Balbinot

Frederico Westphalen, RS, Brasil.

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática
da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Trautenmüller, Jonathan William
Quantificação e distribuição do estoque de biomassa acima do solo em floresta estacional decidual / Jonathan William Trautenmüller.-2015.
92 p.; 30cm

Orientador: Braulio Otomar Caron
Coorientador: Rafaelo Balbinot
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, CESNORS-FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2015

1. Biomassa arbórea 2. Biomassa florestal 3. Equações alométricas 4. Sequestro de carbono I. Caron, Braulio Otomar II. Balbinot, Rafaelo III. Título.

© 2014
Todos os direitos autorais reservados à Jonathan William Trautenmüller. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
Fone (55) 9642-6069; Endereço eletrônico: jwtrautenmuller@yahoo.com.br

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Educação Superior Norte – RS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de mestrado

QUANTIFICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO ESTOQUE DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

elaborada por
Jonathan William Trautenmüller

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____
Braulio Otomar Caron, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

_____
Rafaelo Balbinot, Dr. (UFSM)
(Co-orientador)

_____
Edner Baumhardt, Dr. (UFSM)

_____
Luciano Farinha Watzlawick, PhD. (UNICENTRO)

Frederico Westphalen, 25 de fevereiro de 2015.

Ao meu pai, José Carlos.

A minha mãe, Sirlei.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, por me dar força, perseverança e este mundo repleto de possibilidades.

À minha família, em especial, meu pai José, minha mãe Sirlei, minha irmã Lais e meus avós, Jose Reinoldo (*in memorian*) e Zerenita Trautenmüller, Dionísio Frederico e Ademia Hoff, que sempre contribuíram para minha educação, apoiando e incentivando em todas as minhas decisões, com suas inúmeras palavras de sabedoria e amor incondicional, além de toda confiança depositada durante o tempo que estive distante para a realização deste sonho em comum. Meu pai e minha mãe, exemplos de vida, garra e determinação, características servidas de motivação para prosseguir nessa caminhada.

À Juliane, minha namorada e companheira dessa longa jornada, pelo carinho, amor, compreensão e paciência nos momentos difíceis, pela sua força e por acreditar tanto em mim e nunca desistir de mim.

Aos professores Dr. Braulio Otomar Caron e Dr. Rafaelo Balbinot, orientador e co-orientador, pelas orientações, ensinamentos, amizade e confiança depositados em mim, que foram fundamentais na realização desse trabalho.

Aos professores Rômulo Trevisan e Denise Schimidt pelo incentivo, ensinamentos e pelas valiosas contribuições.

A Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* de Frederico Westphalen através do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, sou grato pela oportunidade de continuar estudando, adquirindo conhecimento. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de mestrado. A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo auxílio financeiro através dos processos 10/0164-5 e 10/1818-5.

Aos meus amigos Gustavo, Diego, Rafael, Angélica, Jaqueline, Fernanda, Maikel, Junior, Robson, Renan, pelas amizades, parceria, companheirismo e fundamentais contribuições, tanto nos trabalhos de campo quanto em laboratório.

Aos demais amigos e colegas do nosso conviver diário, que não estão aqui citados, pelo incentivo e amizade. Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito desse trabalho.

A persistência é o caminho do êxito e o único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.

(Charles Chaplin e Albert Einstein)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

QUANTIFICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO ESTOQUE DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

Autor: Jonathan William Trautenmüller
Orientador: Braulio Otomar Caron
Co-orientador: Rafaelo Balbinot
Data e Local de defesa: Frederico Westphalen, 25 de Fevereiro de 2015.

Este estudo teve por objetivo quantificar e analisar a distribuição do estoque de biomassa acima do solo em fragmentos de Floresta Estacional Decidual (FED) na Região Noroeste do Estado do RS, gerando as informações necessárias para subsidiar a elaboração de projetos florestais. Para tanto, foram instaladas sete unidade amostrais de 12 x 12 m com subunidades de 5 x 5 m e 1 x 1 m para quantificação da regeneração natural classificada em Estrato 1 (E1), 2 (E2) e 3 (E3), o E1 é composto das plantas com menos de 1,3 m de altura do solo, o E2 toda vegetação com mais de 1,3 m de altura e menos que 5 cm de diâmetro a altura do peito (DAP) e o E3 toda vegetação com DAP entre 5 e 10 cm. Nas unidades principais toda vegetação com mais de 10 cm de DAP ficaram classificadas com estrato 4 (E4). Para a quantificação da biomassa acima do solo, após a derrubada das árvores, toda a vegetação arbórea foi pesada diretamente em campo, sendo fraccionadas em tronco (madeira com casca), galhos grossos (diâmetro maior que 5 cm), galhos finos (diâmetro menor que 5 cm), folhas e miscelâneas, estas sendo identificadas a nível de espécies. Para as estimativas de biomassa por ajustes de modelos alométricos foram coletadas as seguintes informação dendrométricas do E4, os diâmetros à 0 (base), DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura do ponto de inversão morfológico (HPIM), altura do HPIM, altura total. Para a estimativa da biomassa acima do solo por diferentes métodos a massa específica básica (MEB) da madeira foi obtida na literatura e outras foram calculadas a partir dos discos tirados na altura do DAP, estes disco, sem casca, apresentavam aproximadamente 2 cm de espessura. Os resultados indicaram que o estoque médio de biomassa para a FED foi de 371,1 $Mg.ha^{-1}$. As árvores com o diâmetro altura do peito (DAP) maior 10 cm representaram mais de 89% da biomassa (4759 Kg). Para o ajuste de modelos alométricos, as equações ajustadas, sem estratificação, apresentam coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) entre 0,726 à 0,972 e erro padrão da estimativa em porcentagem (S_{xy}%) variando de 33,5 a 119,6, o melhor modelo ajustado, para o conjunto de dados não estratificado, foi obtido através do procedimento de *Stepwise*, sendo representado pela seguinte equação: $PST = \beta_0 + \beta_1.(DAP^3) + \beta_2.H + \beta_3.(DAP^3.H)$, com $R^2_{aj.}$ de 0,972 e S_{xy}% de 33,5. Para a forma estratificada, apenas a classe de diâmetro acima de 15 cm apresentou parâmetros aceitáveis, com $R^2_{aj.}$ de 0,968 e S_{xy}% de 26,8. Para a estimativa da biomassa por diferentes métodos, o método direto acumulou 11.450 Kg de biomassa do fuste (PSF) para as sete parcelas. O método indireto que mais se aproximou do PSF foi a biomassa obtida através do volume da equação e da MEB média aritmética, 13.141 Kg, e o que apresentou a maior diferença foi obtida pelo volume rigoroso e MEB média ponderada, que totalizou 20.060 Kg, e MEB média aritmética diferiram estatisticamente do PSF pelo teste de *Dunnett* em nível de 5% de probabilidade de erro. Recomenda-se quantificação fidedigna da biomassa acima do solo no estrato E4, principalmente os maiores indivíduos, pois estes podem propiciar maior erro na quantificação e estimativa da biomassa florestal.

Palavras-chave: Biomassa arbórea. Biomassa florestal. Equações alométricas. Sequestro de carbono.

ABSTRAT

Master dissertation
Graduate Program in Agronomy: Agriculture and Environment
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

MEASUREMENT AND DISTRIBUTION OF STOCK ABOVE-GROUND BIOMASS IN DECIDUOUS FOREST

Author: Jonathan William Trautenmüller
Advisor: Braulio Otomar Caron
Co-advisor: Rafaelo Balbinot
Date and Place of the Defense: Frederico Westphalen, February 25, 2015.

This study aims to quantify and analyze the distribution of the stock of above-ground biomass in Deciduous Forest fragments (FED) in the Region of the Northwest RS, generating the necessary information to support the development of forestry projects. Thus, we installed seven sampling unit of 12 x 12 m with subunits of 5 x 5 m and 1 x 1 m to quantify the natural regeneration classified as Stratum 1 (E1), 2 (E2) and 3 (E3), the E1 is composed of plants with less than 1.3 m from the ground, the E2 all vegetation with over 1.3 m in height and less than 5 cm diameter at breast height (DBH) and E3 all vegetation with DBH between 5 and 10 cm. In the main units all vegetation with more than 10 cm DBH were classified as stratum 4 (E4). For quantification of biomass above ground, after the overthrow of the trees, all tree vegetation was weighed directly in the field, with split trunk (wood with bark), thick branches (diameter greater than 5 cm), thin branches (diameter less than 5 cm), and miscellaneous sheets, these being identified at the species level. To estimate the biomass of the allometric models adjustments were collected the following information dendrometric E4 diameters at 0 (baseline), DAP, 25, 50, 75 and 100% of morphological inversion point height (HPIM) of height HPIM, total height. To estimate the above-ground biomass of different specific gravity methods (MEB) was obtained from wood and other literature were calculated from the disks taken at the time of the DAP, these disk, shelled, had approximately 2 cm thick. The results indicated that the average stock of biomass for the FED was 371.1 $Mg.ha^{-1}$. The trees with the breast height diameter (DBH) greater 10 cm accounted for over 89% of the biomass (4759 kg). To build the allometric models, the equations adjusted without stratification, have adjusted coefficient of determination ($R^2_{aj.}$) Between 0.726 to 0.972 and standard error of estimate in percentage (S_{xy}%) ranging from 33.5 to 119.6, the best adjusted model, for not stratified data set was obtained by the stepwise procedure, represented by the following equation: $PST = \beta_0 + \beta_1.(DAP^3) + \beta_2.H + \beta_3.(DAP^3.H)$, with $R^2_{aj.}$. 0.972 and S_{xy} 33.5%. For the stratified, only diameter class above 15 cm of acceptable parameters, $R^2_{aj.}$ 0.968 and S_{xy} 26.8%. For the estimation of biomass by different methods, the direct method has accumulated 11,450 kg bole biomass (PSF) for the seven installments. The indirect method that is closer to the PSF was the biomass obtained from the volume of the equation and the MEB arithmetic average of 13,141 kg, and the one with the biggest difference was obtained by rigorous and volume weighted average MEB, which totaled 20,060 kg, and arithmetic mean MEB differed from the PSF by Dunnett's test at 5% probability. It is recommended reliable quantification of above-ground biomass in stratum E4, especially the larger ones, as they may provide greater error in the quantification and estimation of forest biomass.

Keywords: Tree biomass. Forest biomass. Alometric equations. Carbon sequestration.

LISTA DE TABELAS

3 CAPÍTULO II - DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA VIVA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

Tabela 3.1 – Distribuição da biomassa vegetal acima do solo e serapilheira (Mg.ha-1) em Floresta Estacional Decidual (FED), nos municípios de Frederico Westphalen e Iraí, RS, Brasil. 39

4 CAPÍTULO III - AJUSTE DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

Tabela 4.1 – Modelos matemáticos testados para as estimativas do Peso Seco Total (PST). . 50

Tabela 4.2 – Árvores com DAP > 5 cm abatidas em cada uma das Unidades Amostrais de 144 m² com suas medidas de altura total (H), diâmetro a altura do peito (DAP) e peso seco total (PST). 52

Tabela 4.3 – Estatísticas descritiva das 91 árvores amostradas em Floresta Estacional Decidual (FED). 54

Tabela 4.4 – Parâmetros e estatísticas dos modelos testados e ajustados para estimativa de biomassa em Floresta Estacional Decidual. 55

Tabela 4.5 – Parâmetros e estatísticas dos modelos testados e ajustados para estimativa de biomassa em Floresta Estacional Decidual. 57

Tabela 4.6 – Estatísticas descritiva para as duas classes de diâmetro em Floresta Estacional Decidual (FED) 57

5 CAPÍTULO IV - ESTIMATIVA DA BIOMASSA DO FUSTE POR DIFERENTES MÉTODOS EM FLORESTA SUBTROPICAL

Tabela 5.1 – Fatores de forma para altura comercial em diferentes tipos florestais e espécies nativas..... 67

Tabela 5.2 – Massa Específica Básica (MEB) da madeira (g.cm^{-3}) das espécies avaliadas. ... 68

Tabela 5.3 – Análise de variância da biomassa para os tratamentos. 69

Tabela 5.4 – Resultados de peso do fuste de cada parcela e análise estatística por Dunnett. .. 69

Tabela 5.5 – Média aritmética (M_{Arit}) e ponderada (M_{Pond}) da massa específica da madeira em diferentes ecossistemas florestais (g.cm^{-3}). 70

LISTA DE FIGURAS

3 CAPÍTULO II - DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA VIVA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

Figura 3.1 – Biomassa total e por compartimento, Fuste (F), GAlhos Grossos (GG), Galhos Finos (GF), Casca (CA), Folhas (FO), Miscelâneas (MI) e Biomassa total (PST) em cada classe de diâmetro.. 40

Figura 3.2 – Biomassa das três maiores árvores e a biomassa das árvores restantes com DAP > 10 cm de cada Unidade Amostral (UA).....42

Figura 3.3 – Distribuição da biomassa florestal nos diferentes estratos da floresta estacional decidual. Fonte: Adaptado de Roderjan et al. (2002).....42

4 CAPÍTULO III - AJUSTE DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

Figura 4.1 – Distribuição dos resíduos das estimativas de biomassa em função do diâmetro a altura do peito (DAP). 56

Figura 4.2 – Distribuição dos resíduos das estimativas de biomassa em função do diâmetro a altura do peito (DAP) para a classe de diâmetro de 5 a 15 centímetros.....58

Figura 4.3 – Distribuição dos resíduos das estimativas de biomassa em função do diâmetro a altura do peito (DAP) para a classe de diâmetro acima de 15 centímetros. 59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL **14**
1.1 Objetivo Geral **15**
1.2 Objetivos Específicos **15**

2 CAPÍTULO I **16**

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **16**
2.1 Mata Atlântica **16**
2.2 Floresta Estacional Decidual **17**
2.3 Biomassa **18**
2.3.1 Métodos Diretos 19
2.3.2 Métodos Indiretos 20
2.4 Modelagem **21**
2.5 Massa específica básica **22**
2.6 Referências Bibliográficas **24**

3 CAPÍTULO II **34**

DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA VIVA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL **34**
3.1 Resumo **34**
3.2 Abstract **35**
3.3 Introdução **35**
3.4 Material e Métodos **37**
3.5 Resultados e Discussão **38**
3.6 Conclusões **43**
3.7 Referências **43**

4 CAPÍTULO III **47**

AJUSTE DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL **47**
4.1 Resumo **47**
4.2 Abstract **48**
4.3 Introdução **48**
4.4 Material e Métodos **49**
4.5 Resultados e Discussão **51**
4.6 Conclusões **59**
4.7 Referências **60**

5 CAPÍTULO IV **63**

ESTIMATIVA DA BIOMASSA DO FUSTE POR DIFERENTES MÉTODOS EM FLORESTA SUBTROPICAL 63
5.1 Resumo 63
5.2 Abstract 64
5.3 Introdução 64
5.4 Material e Métodos 66
5.5 Resultados 68
5.6 Discussão 70
5.7 Conclusões 71
5.8 Referências 72

6 CONCLUSÃO GERAL 77

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 78

1 INTRODUÇÃO GERAL

A biomassa vegetal é uma variável ecológica para a compreensão da evolução e dos potenciais mudanças no clima. As alterações na quantidade de biomassa da vegetação já afetam a atmosfera, por ser uma fonte líquida de carbono. Dependendo da quantidade de biomassa a cobertura vegetal pode ter influência direta sobre clima local, regional e até mesmo mundial, particularmente na temperatura e umidade relativa do ar. Portanto, a quantificação da biomassa e sua dinâmica são essenciais para previsão de mudanças climáticas, modelos e estratégias de adaptação.

Além disso, há duas outras questões emergentes que contribuem para o aumento da importância do papel da biomassa como variável climática: i) o crescente uso de biomassa para produção de energia, de modo que o aumento da percentagem de gases de efeito estufa (GEE) emitidos a partir do consumo de biomassa; e ii) a preocupação em reduzir significativamente as emissões de GEE, pela implementação de mecanismos de redução de emissões de gases de efeito estufa pelo desmatamento e degradação ambiental (REDD).

Os estudos de biomassa podem ser voltados para diversas finalidades como quantificação de ciclagem de nutrientes, produção energética, fixação de carbono e crescimento da floresta, em qualquer um dos casos é de fundamental importância para o planejamento florestal. Nas florestas nativas a avaliação do crescimento em biomassa é importante para gerenciamento dos planos de manejo sustentado, uma vez que várias decisões dependem deste conhecimento (SCHNEIDER, 1993). Em função deste contexto, o presente trabalho irá abordar a biomassa florestal acima do solo.

Quanto à metodologia, a quantificação da biomassa de forma direta se fundamenta no abate dos indivíduos e posterior pesagem, esse método pode ser baseado em indivíduo médio, para plantações florestais ou em unidade de área (parcelas) para florestas nativas. Do ponto de vista da aplicação destas informações, são as que produzem a melhor estimativa de biomassa, porém, esta necessita de maior custo e tempo para sua coleta (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989; FEARNSIDE, 1991). As estimativas de biomassa por métodos indiretos são baseados na utilização de dados de inventários florestais convencionais e no uso de alometria ou também por fatores de conversão de biomassa. Os modelos alométricos têm sido utilizados para estimar a biomassa de diversas florestas, porém, estas equações são aplicáveis para fragmentos ou pequenas florestas. Porém, este método baseia-se em dados como: diâmetro a

altura do peito, altura total e altura comercial, e apresenta custo e tempo menor quando comparado com o método direto.

Como Brown; Gillespie; Lugo (1989), citam que os métodos diretos são baseados em pequenas parcelas e tendenciosamente escolhidas, Fearnside (1991), ressalva que apesar dos métodos diretos serem baseados em pequenas parcelas, os métodos indiretos produzem estimativas muito aquém dos métodos diretos, mesmo se utilizado um único banco de dados. Nesse contexto, a seguir, são citados os objetivos do presente trabalho.

1.1 Objetivo geral

Quantificar o estoque de biomassa acima do solo em Fragmentos de Floresta Estacional Decidual na Região Noroeste do Estado do RS, utilizando diferentes métodos para esta tipologia florestal.

1.2 Objetivos específicos

- Quantificar o estoque de biomassa na vegetação arbórea e arbustiva e na serapilheira na Floresta Estacional Decidual (FED);
- Ajustar e testar equações para estimar o estoque de biomassa por meio de variáveis de fácil obtenção (diâmetro a altura do peito e altura total), gerando metodologia aplicável em inventários florestais convencionais;
- Estimar o estoque de biomassa por diferentes métodos (diretos e indiretos), em FED, incluindo volumetria e massa específica básica da madeira**.**

2 CAPÍTULO I

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mata Atlântica

A Mata Atlântica já foi uma das maiores florestas de toda a América Latina e a segunda maior do Brasil, menor somente que a floresta Amazônica, compreendendo aproximadamente 150 milhões de hectares (RIBEIRO et al., 2009; IBGE, 2012). Os remanescentes, no dias de hoje, estão entorno de 20% de sua cobertura original, em diferentes estágios sucessionais e, por volta de, 7% em fragmentos conservados. Sua distribuição, aproximadamente de 30º de latitude, regiões tropicais e subtropicais, com grande variação de altitude. Apresenta condições climáticas adversas, como a precipitações que, varia de 1000 $mm.ano^{-1}$, nas florestas no interior do continente, à 4000 $mm.ano^{-1}$ na região costeira do país (RIBEIRO et al., 2009).

Essa distribuição geográfica e climática acarreta em florestas heterogêneas, assim, a Mata Atlântica apresenta florestas tropicais e subtropicais com as seguintes tipologias florestais: Florestas Ombrófilas, aberta, mista e densa, Florestas Estacionais Deciduais, Florestas Estacionais Semideciduais e ecossistemas associados a campos de altitude, restinga e mangueizais (IBGE, 2012). Na Mata Atlântica existem cerca de 35% (20.000 espécies) da espécies da flora brasileira, além de, 8.000 espécies endêmicas, correspondente a 2,7% do total mundial (MYERS et al., 2000). Esta riqueza, tão significativa, é maior que a de alguns continentes como América do Norte (17.000 espécies) e Europa (12.500 espécies) (MMA, 2014).

2.2 Floresta Estacional Decidual

As florestas estacionais são as formações florestais com maior área de cobertura entre as ocorrentes no Rio Grande do Sul (RS), predominando no Alto Uruguai, ao longo das encostas da Serra Geral e leste do Planalto Sul-Rio-Grandense ou Serra do Sudeste (RAMBO, 1942; IBGE, 2012). Ao longo do Rio Uruguai e seus afluentes, se estende uma densa floresta, caracterizada por um estrato arbóreo superior formado por árvores altas e emergentes, na sua maioria decidual. Nesse caso, dominam principalmente a grápia (*Apuleia leiocarpa*), sem dúvida a árvore mais frequente ao longo das encostas do Rio Uruguai, o angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*), a canafístula (*Peltophorum dubium*), a timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), o louro (*Cordia trichotoma*) e a canjerana (*Cabralea canjerana*), espécies emergentes que perdem suas folhas durante o inverno, caracterizando a floresta como estacional (REITZ et al., 1988; SCIPIONI et al., 2011). Dependendo do percentual de árvores do extrato superior que apresentam deciduidade, a floresta pode ser classificada com Estacional Semidecidual, quando menos que 50% dos indivíduos perdem as folhas, ou em Estacional Decidual quando mais de 50% dos indivíduos perdem as folhas no inverno.

Para Kray e Jarenkow (2003), no Rio Grande do Sul as formações florestais apresentam grande gama, de espécies na composição florística e em sua organização espacial. Dessa forma, podemos identificar quatro formações distintas da floresta estacional decidual (FED): Aluvial, Terras Baixas, Submontana e Montana. As florestas aluviais ocorrem quase exclusivamente nas bacias dos rios do Rio Grande do Sul, constituídas principalmente por espécies higrófitas deciduais, como, açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) (IBGE, 2012). As formações de terras baixas em latitudes ente 24 e 32° Sul, ocorrem na faixa altimétrica de 5 até em torno de 30 m. A maior parte das FED se encontram na formação submontana, em que ocorrem principalmente os gêneros *Parapiptadenia*, *Apuleia* e *Peltophorum* de alto porte que dominam no estrato das emergentes. A formação montana situa-se entre 400 e 1.000 m de altitude, entre as latitudes 24 e 32° Sul (IBGE, 2012).

Segundo Scipioni et al. (2011) em estudos realizados em fragmento de FED montana no município de Frederico Westphalen-RS, as principais espécies arbóreas são *Gymnanthes concolor*, *Nectandra megapotamica*, *Trichilia claussenii*, *Sorocea bonplandii* e *Holocalyx balansae*, todas com mais de 10% de valor de importância (VI). Em estudos realizados em fragmento de FED em Santa Maria-RS, por Longhi et al. (1999) as espécies com maior VI foram *Helietta apiculata*, *Casearia sylvestris*, *Faramea marginata*, *Myrsine umbellata*,

Chomelia obtusa, *Cabralea canjerana*, *Cordia americana*, *Chrysophyllum marginatum* e *Luehea divaricata*, todas com mais de 10% de VI. Assim, demonstra a grande variabilidade fitossociologia entre fragmentos distintos de FED, isto se deve, a grande exploração desordenada ocorrida no século 20, que ocorreu no Rio Grande do Sul (SCIPIONI et al., 2011).

2.3 Biomassa

Através da fotossíntese as plantas fixam carbono em suas estruturas celulares (TAIS e ZEIGER, 2013), isto associado ao fato de que 30% do planeta é coberto por florestas e estas possuem entorno de 85% do carbono disponível fixado em seus constituinte químicos (HOUGHTON, 1994), torna imprescindível o conhecimento sobre a biomassa acumulada nos ecossistemas florestais.

Biomassa significa massa de matéria orgânica de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal (SILVEIRA et al., 2008). Martinelli et al. (1994) definem biomassa florestal como a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta, sendo que os componentes de biomassa geralmente estimados são as de biomassa viva acima do solo. Segundo Sanquetta e Balbinot (2004) biomassa florestal pode significar toda a biomassa existente na floresta ou apenas a fração arbórea da mesma.

Sabendo que dentro da mesma tipologia florestal há diferentes quantidades de biomassa acumulada, isto se deve a fatores fitossociológicos, climáticos e geográficos como, precipitação, temperatura, latitude e altitude (GUEDES et al., 2001). Alguns trabalhos de quantificação de biomassa vêm sendo realizados nas últimas décadas, porém, grande parte destes em florestas tropicais (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989; FEARNSIDE, 1991; KETTERINGS et al., 2001; HIGUCHI et al., 2004; SEGURA; KANNINEN, 2005; NOGUEIRA et al., 2008; HENRY et al., 2010; LIMA et al., 2012) e para as florestas subtropicais se tem poucos estudos (RIBEIRO et al., 2010; WATZLAWICK et al., 2012; IMAÑA-ENCINAS; PAULA; CONCEIÇÃO, 2012; VOGEL; SCHUMACHER; TRÜBY, 2013) e são estudos recentes.

As metodologias utilizadas para se obter estimativas de biomassa em áreas florestais têm como base dados de inventários florestais convencionais, aplicando fatores de conversão e modelos alométricos, que convertem dados de diâmetro, altura e volume em biomassa

(SOMOGYI et al., 2006). Em geral, é necessário uma amostragem direta para a estimativa correta da biomassa florestal, nos indivíduos arbóreos esta medida é a partir de seus componentes. A forma de separação varia conforme o tipo de floresta e objetivo do estudo. Essa variação pode considerar ou desconsiderar alguns componentes específicos, como flores e frutos, ou subdividindo-os como galhos grossos e galhos finos (CAMPOS, 1991).

Para Higuchi e Carvalho Junior (1994) os estudos de biomassa florestal podem ser divididos em dois métodos, diretos (quantificação) e indiretos (estimativas). Quantificação significa medida real executada diretamente a campo ou peso determinado a campo, como, a pesagem de algum compartimento arbóreos com balança ou dinamômetro. A estimativa de biomassa pelo método indireto consiste na utilização de variáveis de fácil obtenção, e desta forma, não necessitando o abate das árvores (SILVEIRA et al., 2008). Estas estimativas podem ser feitas por meio de relações quantitativas e matemáticas, como fatores expansão de biomassa, modelos alométricos que utilizam dados de inventário florestal e pela utilização de uma base de dados em Sistema de Informações Geográficas (SIG) (SILVEIRA et al., 2008).

2.3.1 Métodos Diretos

Os métodos diretos de quantificação de biomassa podem ser enquadrados em dois grupos, (i) método da árvore individual, o mais utilizado em plantações florestais e, (ii) o método da parcela, para florestas nativas este é o melhor método, porém, também pode ser aplicado a plantios florestais (SANQUETTA; BALBINOT, 2004). Conforma Pardé (1980), o método da árvore individual, consiste no abate do indivíduo de diâmetro médio do povoamento, necessita do inventário piloto para cálculo diâmetro desta árvore. Para florestas com estrutura mais complexa aplica-se uma variação deste método, após o inventário piloto, para se conhecer a distribuição diamétrica, derruba-se um determinado número de indivíduos de cada classe de diâmetro existente na floresta (SILVEIRA et al., 2008).

O método da parcela consiste na derrubada de todos os indivíduos em determinada unidade de área, ou seja, toda biomassa é cortada e pesada nessa unidade amostral (PARDÉ, 1980). Segundo Sanquetta e Balbinot (2004) no campo são obtidos os pesos verdes separadamente de fuste com casca, galhos, folhas e miscelâneas. Na sequencia são retirados discos, com aproximadamente três á quatro centímetros de espessura, do fuste e dos galhos em posições relativas ao comprimento total do componente. Todas as amostras de fuste,

casca, galhos, folhas e miscelâneas, devem ser secas a 75° C até atingir peso constante para determinação do peso seco total. Para Brown; Gillespie; Lugo (1989), as estimativas geradas pelo método direto não são confiáveis, pois, são em pequenas parcelas e tendenciosamente escolhidas. Salati (1994) cita que estas parcelas apresentam área de 0,2 a 1,0 ha e são usadas para calibrar as equações alométricas.

2.3.2 Métodos Indiretos

As estimativas de biomassa de forma indireta podem ser feitas de duas formas (SOMOGYI et al., 2006); (i) utilizando dados de inventário florestal, como volume e multiplicando por fatores de expansão de biomassa, que convertem (reduzem ou expandem) as estimativas de volume em biomassa florestal (SILVEIRA et al., 2008), através da equação $B = V.FEB$; em que: B é a biomassa; V é a variável utilizada; FEB é o fator de conversão ou expansão de biomassa. (ii) Outra forma de estimar a biomassa é pelo ajuste de equações alométricas, pelas técnicas de regressão (SILVEIRA et al.,2008). Para aplicação da modelagem em florestas locais, modelos simples podem ser utilizados apenas com o diâmetro a altura do peito (DAP), quando estes existem, são a melhor opção prática para estimar a biomassa (LITTON; KAUFFMAN, 2008; BASUKI et al, 2009). Em escala regional, os modelos baseados apenas no DAP podem ter maior grau de incerteza que os modelos mais complexos. A estimativa da biomassa da árvore pode ser melhorada com a inclusão da altura total da árvore (BROWN, 1997; WANG et al, 2006; NOGUEIRA et al, 2008). Como Equação 1 a seguir:

$$B = \beta_0 + \beta_1.X_1 + \beta_2.X_2 + \cdots + \beta_n.X_n \quad (1)$$

em que: B é Biomassa Florestal; $\beta_n, \beta_0, \beta_1, \beta_2$, são os coefientes angulares do modelo; X_n, X_1, X_2 são as variáveis independente utilizadas no modelo.

De certa forma, os fenômenos naturais, são geralmente não-lineares, assim, a utilização destes modelos geram estimativas melhores que os modelos lineares (SILVEIRA et al.,2008). A utilização de modelos não-lineares em manejo florestal é baseada no crescimento e desenvolvimento da floresta á qual apresente tendência não-linear e sigmoidal (REGAZZI; LEITE, 1993). O uso de equações alométricas apresenta vantagem devido a não necessidade

de cálculo da variável volume, porém, a desvantagem que nem sempre se tem amostragem de todas as classes de diâmetro (BROWN, 1997). Geralmente inventários florestais consideram indivíduos acima de 10 centímetros de diâmetro, desprezando os indivíduos menores, que podem conter até 30% da biomassa total acima do solo (BROWN, 1997).

Brown; Gillespie; Lugo (1989) citam que, para converter dados de volume em biomassa, é necessario o desenvolvimento de fatores de expanção de biomassa (FEB), este é a razão entre o peso seco total do indivíduo pelo seu volume comercial inventariado. Os mesmos autores contestam os resultados dos métodos diretos, salientando que estes estão baseados em parcelas pequenas e tendenciosamente escolhidas, com poucos indivíduos de grandes dimensões amostrados. Esta tendenciosidade se deve ao método direto ser muito trabalhoso e oneroso, dessa forma o pesquisador sempre escolhe a área que julga ser a mais represntativa (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989). Fearnside (1991) e Higuchi e Carvalho Junior (1994) contestam as críticas de Brown; Gillespie; Lugo (1989) aos métodos diretos, apesar destes estarem baseados em pequenas parcelas e tendenciosamente escolhidos, os métodos indiretos ficam muito aquém de qualquer resultado obtido com os métodos diretos.

2.4 Modelagem

Modelo matemático é uma representação quantitativa dos processos que ocorrem em determinado sistema. Considerando que este é como uma imagem simplificada da realidade, o modelo nunca conterá todas as nuances do sistema real, mas deve necessariamente possuir as características essenciais do problema a ser resolvido, ou seja, a criação de modelos depende do seu objetivo (ANGELINI; GOMES, 2008). Segundo Silva (2008) a modelagem matemática é baseada em hipóteses que tentam representar fenômenos físicos ou biológicos, com a finalidade de gerar uma equação que possa estimar quantitativamente tal(is) fenômeno(s) a um determinado nível de probabilidade.

Para Scolforo (2005) muitos profissionais que atuam na área técnica, na administração ou na pesquisa florestal necessitam, com frequência, quantificar variáveis que apresentam um alto custo para que sejam mensuradas em grande escala. Muitas vezes, mesmo com um alto custo, é totalmente inviável a sua mensuração, já que implicam na restrição da base de dados. Pode-se citar, como exemplo, a determinação do volume de árvores, biomassa florestal, a massa específica básica da madeira ou alguma outra característica tecnológica, os sortimentos

que a árvore pode propiciar e muitas outras possibilidades. Uma das formas que tem sido utilizada e que apresenta bons resultados é o uso de modelos de regressão nos quais procura-se estimar a variável mais complexa (variável dependente) por meio de uma ou mais variáveis ou, ainda, combinação dessas, que sejam facilmente mensuráveis (variáveis independentes) (ABREU, 2012).

Segundo Morales (2006) a análise de regressão é uma ferramenta estatística que explora a relação entre variáveis quantitativas (ou qualitativas). Para Sanquetta et al. (2009) a regressão é a ferramenta utilizada para a construção de equações a partir de modelos matemáticos. É a técnica que permite analisar a relação existente entre duas ou mais variáveis e tem como objetivo estimar a variável de difícil mensuração em função da(s) variável(is) de fácil mensuração.

Em relação à comparação e seleção entre modelos de regressão, utilizam-se vários critérios estatísticos. No entanto, Finger (1992) relatou que, em geral, a maioria dos autores usa o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e o erro padrão da estimativa (S_{yx}), em conjunto, como critérios de comparação, analisando também a distribuição do resíduo.

Quando a transformação na variável dependente é do tipo logarítmica, se usa fator de correção da discrepância logarítmica, esse proposto por Meyer (1943), em que se esse corrige as estimativas dos modelos logarítmicos e a partir dele se obtém novos valores de R^2_{aj} e $S_{xy}(\%)$ para assim esses modelos poderem ser comparados com modelos aritméticos. Um outro aspecto que deve ser considerado na avaliação de um modelo são as condicionantes da regressão, sendo eles, homogeneidade da variância, independência e normalidade (SCHNEIDER et al., 2009).

A modelagem matemática se torna uma ferramenta importante para o manejo florestal, pois com a criação de equações para se determinar, volume, biomassa e teor de nutrientes, o engenheiro responsável terá varias opções para tomar as decisões para melhor utilizar os recursos naturais.

2.5 Massa específica básica

A massa específica básica (ME_b) da madeira nada mais é do que a combinação dos diferentes tipos celulares que reflete a quantidade de matéria lenhosa em determinado volume ou, de modo inverso, o volume de espaços vazios que estão presentes na madeira

(PERES et al., 2012). Tratando-se de um dos principais parâmetros tecnológicos a ME_b é considerada como apontador das propriedades físicas da madeira (VALE et al, 2009). Isto se deve pela relação da ME_b com outras características e também pela facilidade de sua determinação (LIMA; GARCIA, 2005; WASHUSEN et al., 2005; MATTOS et al., 2011).

As variações da ME_b encontradas nas espécies florestais se deve as diferentes estruturas anatômica da madeira e, em menor proporção, à quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume. Essas alterações decorrem em razão, principalmente, da idade da árvore, genótipo, qualidade do sítio, clima, localização geográfica (ALZATE et al., 2005; WASHUSEN et al., 2005; TREVISAN et al., 2007, 2012a, 2012b), e em função da taxa de crescimento (TOMAZELLO FILHO, 1985; SOUZA et al., 1986). Porém, entre espécies e dentro da mesma espécie ocorrem devido à diferença de idade entre os indivíduos (WIEMANN; WILLIAMSON, 2002; WOODCOCK, 2000; BAKER et al., 2004; MULLER-LANDAU, 2004).

A variabilidade da ME_b da madeira de folhosas pode ser dada por quatro modelos de variação: (i) quando decresce uniformemente com a altura; (ii) decrescente até o meio do fuste com acréscimo até o topo; (iii) crescente da base para o topo, porém não tendo um padrão definido; e, (iv) a massa específica não variando conforme a altura (DOWNES; RAYMOND, 1997). O crescimento da ME_b da madeira pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação à proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução na ME_b (EISFELD et al., 2009).

A partir dessa perspectiva, a ME_b da madeira é uma característica fundamental dentro da floresta (SWENSON; ENQUIST, 2007) na medida em que pode influenciar os estoques de biomassa e o ecossitemas florestais (BAKER et al, 2004; MALHI et al, 2006). Baker et al. (2004) relataram correlação positiva entre a ME_b da madeira e a biomassa acima do solo e uma série de estudos têm demonstrado que os declínios temporais na média da ME_b nas florestas irá causar um decréscimo na biomassa florestal acima do solo (PHILLIPS; GENTRY, 1994; KÖRNER, 2004; BUNKER et al, 2005; LAURENCE et al, 2006; KEELING; PHILLIPS, 2007).

Assim como o aumento dos níveis de deposição de nitrogênio (GALLOWAY et al., 2004), a radiação solar (WIELICKI et al., 2002), o dióxido de carbono atmosférico, fragmentação (LAURENCE, 1998) e o crescimento de lianas (CONDON et al., 1992; WÜRTH et al., 1998; GRANADOS; KÖRNER, 2002; PHILLIPS et al., 2004) pode resultar em um decréscimo na ME_b madeira média dentro de uma floresta (PHILLIPS; GENTRY,

1994; SCHNITZER et al., 2000; NEMANI et al., 2003; MALHI et al., 2004; PHILLIPS et al., 2004; STEPHENSON; VAN MANTGEM, 2005; LAURENCE et al., 2006).

No entanto, não há base mecanicista ou teórica para justificar uma relação consistentemente positiva entre a biomassa florestal e ME_b média da floresta. Especificamente a taxa de crescimento e incremento em diâmetro é dependente da ME_b do indivíduo, mas a biomassa acumulada não apresenta relação positiva com a ME_b (ENQUIST et al., 1999; STEGEN et al., 2009). Dessa forma, as variações na ME_b média de diferentes florestas, não deve influenciar a taxa de acumulação de biomassa (ENQUIST et al., 1999; ENQUIST; NIKLAS, 2001) de forma significativa que a biomassa irá aumentar uniformemente com ME_b da floresta (STEGEN et al., 2009). Mas, alguns autores citam a importâcia da inclusão da ME_b nos modelos alométricos (CHAVE et al., 2004; STEGEN et al., 2009; CLARK e KELLNER, 2012), mas principalmente nas formas de conversão de volume em biomassa florestal.

2.6 Referências Bibliográficas

ABREU, J. C. **Modelagem de biomassa e de nutrientes de espécies da caatinga no município de Floresta-PE.** 2012. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2012.

ALZATE, S. B. A.; FILHO, M. T.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.68, p.87-95, 2005.

ANGELINI, R; GOMES, L. C**. O artesão de ecossistemas: construindo modelos com dados**. 1.Ed. Maringa-PR: Editora UEM, 2009. 173f.

BAKER, T.R.; PHILLIPS, O.L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; KILLEEN, T.J.; LAURANCE, S.G.; LAURANCE, W.F.; LEWIS, S.L.; LLOYD, J.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D.A.; PATIÑO, S.; PITMAN, N.C.A.; SILVA, J.N.M.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**, v.10, p.545–562, 2004.

BASUKI, T.M.; VAN LAAKE, P.E.; SKIDMORE, A.K.; HUSSIN, Y.A. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland *Dipterocarp* forests. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v.257, p.1684-1694, 2009.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, Lawrence, v. 35, p. 881-902, 1989.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests**: a primer. Rome: FAO, 1997. 55 p.

BUNKER, D. E.; DE CLERCK, F.; BRADFORD, J. C.; COLWELL, R. K.; PERFECTO, I.; PHILLIPS, O. L.; SANKARAN, M.; NAEEM, S. Species loss and aboveground carbon storage in a tropical forest. **Science**, v.310, p.1029–1031, 2005.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de** *Ilex paraguariensis.* **Avaliação na safra e na safrinha**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CHAVE, J.; CONDIT, R.; AGUILAR, S.; HERNANDEZ, A.; LAO, S.; PEREZ, R. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. **Philosophical Transactions of the Royal Society Series B-Biological Sciences**, v. 359, p. 409-420, 2004.

CLARK, D. B.; KELLNER, J. R. Tropical forest biomass estimation and the fallacy os misplaced concreteness. **Journal of Vegetation Science**, v. 23, p. 1191-1196, 2012.

CONDON, M. A.; SASEK, T. W.; STRAIN, B. R. Allocation patterns in 2 tropical vines in response to increased atmospheric CO2. **Functional Ecology**, v. 6, p. 680-685, 1992.

DOWNES, G. M.; RAYMOND, C. A. Variation in wood density in plantation eucalypts. In: DOWNES, G. M. et al. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Australia: CSIRO Publishing, p. 88-99. 1997.

EISFELD, R; EISFELD, C. L; FERREIRA, J. M; PIMENTEL, A; RODRIGUES, F; ALMEIDA, A. Modelagem da massa específica básica dos cavacos a Partir de variáveis dendrométricas e da massa Específica do disco. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 877-886, 2009.

ENQUIST, B. J.; NIKLAS, K. J. Invariant scaling relations across tree-dominated communities. **Nature**, v. 410, p. 655-660, 2001.

ENQUIST, B. J.; WEST, G. B.; CHARNOV, E. L.; BROWN, J. H. Allometric scaling of production and life-history variation in vascular plants. **Nature**, v. 401, p. 907-911, 1999.

FEARNSIDE, P. M.; Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. In: LEVINE, J. S. (Ed.). **Global Biomass Burning**: Atmospheric Climatic and Biospheric Implications, Boston: MIT, p. 92-105, 1991.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 269 f, 1992.

GALLOWAY, J. N.; DENTENER, F. J.; CAPONE, D. G.; BOYER, E. W.; HOWARTH, R. W.; SEITZINGER, S. P.; ASNER, G. P.; CLEVELAND, C. C.; GREEN, P. A.; HOLLAND, E. A.; KARL, D. M.; MICHAELS, A. F.; PORTER, J. H.; TOWNSEND, A. R.; VOROSMARTY, C. J. Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, v. 70, p. 153-226, 2004.

GRANADOS, J.; KÖRNER, C. In deep shade, elevated CO2 increases the vigor of tropical climbing plants. **Global Change Biology**, v. 8, p. 1109-1117, 2002.

GUEDES, B.; ARGOLA, J.; PUNÁ, N; MICHONGA, E.; MONTEIRO, J. **Estudo da biomassa florestal numa floresta aberta de miombo no distrito de Bárué, Manica**. Moçambique: Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, 2001. pt. 2. Relatório das atividades de julho/2001.

HENRY, M.; BESNARD, A.; ASANTE, W. A.; ESHUN, J.; ADU-BREDU, S.; VALENTINI, R.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRÉ, L. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 260, p. 1375-1388, 2010.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295-304, set./dez., 2004.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO2: uma oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 125-145.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO2: uma oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 38-76.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2ª edição revista e ampliada, 2012, 271 p.

IMANÃ-ENCINAS, J.; PAULA, J. E.; CONCEIÇÃO, C. A. Florística, volume e biomassa lenhosa de um fragmento de Mata Atlântica no município de Santa Maria de Jetibá, Espirito Santo. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.3, p.565-576, 2012.

KEELING, H. C.; PHILLIPS, O. L. The global relationship between forest productivity and biomass. **Global Ecology and Biogeography**, v.16, p.618-631, 2007.

KETTERINGS, Q. M.; COE, R.; NOORDWIJK, M. van.; AMBAGAU, Y.; PALM, C. A. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 146, p. 199-209, 2001.

KÖRNER, C. Through enhanced tree dynamics carbon dioxide enrichment may cause tropical forests to lose carbon. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 359, p. 493-498, 2004.

KRAY, J. G.; JARENKOW, J. A. Estrutura do componente arbóreo de mata estacional de encosta do Parque de Itapuã, Viamão, RS, 2003. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 6., 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2003. Cap. III – Florestas Estacionais. p. 452-453.

LAURANCE, W. F. A crisis in the making: responses of Amazonian forests to land use and climate change. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 13, p. 411-415, 1998.

LAURANCE, W. F.; NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, S. G.; ANDRADE, A.; RIBEIRO, J.; GIRALDO, J. P.; LOVEJOY, T. E.; CONDIT, R.; CHAVE, J.; HARMS, K. E.; D'ANGELO, S. Rapid decay of tree-community composition in Amazonian forest fragments. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, v. 103, p. 19010-19014, 2006.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Influência do desbaste em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 151-160, 2005.

LIMA, A. J. N.; SUWA, R.; RIBEIRO, G. H. P. M.; KAJIMOTO, T.; SANTOS, J.; SILVA, R. P.; SOUZA, C. A. S.; BARROS, P. C.; NOGUCHI, H.; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 277, p. 163-172, 2012.

LITTON, C. M.; KAUFFMAN, J. B. Allometic models for predicting abovegroud biomass in two widespread woody plants in Hawaii. **Biotropica**, v. 40, n. 3, p. 313-320, 2008.

LONGHI, S. J.; NASCIMENTO, A. R. T.; FLEIG, F. D.; DELA-FLORA, J. B.; FREITAS, R. A.; CHARÃO, L. W. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal no município de Santa Maria-Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 115-133, 1999.

MALHI, Y.; BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; ALMEIDA, S.; ALVAREZ, E.; ARROYO, L.; CHAVE, J.; CZIMCZIK, C. I.; FIORE, A. D.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTOYA, L. M. M.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ VARGAS, P.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMAO, R.; SILVA, J. N. M.; LEZAMA, A. T.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; TERBORGH, J.; VINCETI, B.; LLOYD, J. The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. **Global Change Biology**, v. 10, p. 563-591, 2004.

MALHI, Y.; WOOD, D.; BAKER, T. R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O. L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ VARGAS, P.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J. N. M.; LEZAMA, A. T.; TERBORGH, J.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; VINCETI, B. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 12, p. 1107-1138, 2006.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO2: uma oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 197-221.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L. M; MELLO, R. R. DE; SANTINI, E J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011.

MEYER, H. A. The standard error of estimate of tree volume from the logarithmic volume equation. **Journal Forestry**, v. 36, p. 340-342. 1943.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biomas – Mata Atlântica**, 2014. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>, Acesso em: 30 de Novembro, 2014.

MORALES, F. E. R. **Estimação dos parâmetros de um círculo para modelos Heteroscedásticos de regressão**. 102f. Dissertação (Mestrado em Estatística) Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2006.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

MULLER-LANDAU, H. C.; Interspecific and Inter-site Variation in Wood Specific Gravity of Tropical Trees**. Biotropica,** Lawrence, v. 36, n. 1, p. 20-32, 2004.

NEMANI, R. R.; KEELING, C. D.; HASHIMOTO, H.; JOLLY, W. M.; PIPER, S. C.; TUCKER, C. J.; MYNENI, R. B.; RUNNING, S. W. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. **Science**, v. 300, p. 1560-1563, 2003.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, p. 1853-1867, 2008.

PARDÉ, J. **Forest biomass**. In: Forestry Abstract Review Article. França: Station de Silviculture et de Production, Centre National de Recherches Forestieres, vol. 41. p. 349-352. 1980.

PERES, M. L.; GATTO, D. A.; STAGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; BELTRAME, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto pela variação da massa específica de açoita-cavalo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1596-1602, 2012.

PHILLIPS, O. L.; GENTRY, A. H. Increasing turnover through time in tropical forests. **Science**, v. 263, p. 954-958, 1994.

PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D.; NÚÑEZ VARGAS, P.; SILVA, N.; TERBORGH, J.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.;

ALEXIADES, M.; ALMEIDA, S.; BROWN, S.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CZIMCZIK, C .I.; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; KUEBLER, C.; LAURANCE, S. G.; NASCIMENTO, H. E. M.; OLIVIER, J.; PALACIOS, W.; PATIÑO, S.; PITMAN, N.; QUESADA, C. A.; SALDIAS, M.; TORRES LEZAMA, A.; VINCETI, B. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976–2001. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 359, p. 381-407, 2004.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1942, 360 p.

REGAZZI, A. J.; LEITE, H. G. **Análise de regressão**: **teoria e aplicações em manejo florestal**. Viçosa, MG: UFV/DEF/SIF, 1993. 232 p. Apostila.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: CORAG, 1988, 525 p.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J. & HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; NARDELLI, A. M. B; SOUZA, A. L. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de Carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 495-504, 2010.

SALATI, E. Emissão x seqüestro de CO2 – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO2: uma oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 15-37, 1994.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas.** Curitiba: [s.n.], 2004, p. 47-63.

SANQUETTA, C. R; WATZLAWICK, L. F; CÔRTE, A. P. D; FERNANDES, L. A. V; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários florestais: planejamento e execução.** 2.Ed. Curitiba-PR: Multh-graphic gráfica editora, 2009. 270 p.

SCHNITZER, S. A.; DALLING, J. W.; CARSON, W. P. The impact of lianas on tree regeneration in tropical forest canopy gaps: evidence for an alternative pathway of gap-phase regeneration. **Journal of Ecology**, v. 88, p. 655-666, 2000.

SEGURA, M.; KANNINEN, M. Allometric Models for Tree Volume and Total Aboveground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica. **Biotropica**, v. 37, n. 1, p. 2-8, 2005.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: parte I: modelos de regressão linear e não-linear parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento, e peso de matéria seca.** 1. ed. Lavras-MG. Editora UFLA, 2005. 354p.

SCHNEIDER, P. R; SCHNEIDER, P. S. P; SOUZA, C. A. M. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal,** 2. ed. Santa Maria: UFSM/FACOS, 2009. 293 p.

SCIPIONI, M. C.; FINGER, C. A. G.; CANTARELLI, E. B.; DENARDI, L.; MEYER, E. A. Fitossociologia em fragmento florestal no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 409-419, jul.-set., 2011.

SILVA, J. A. **Estimativa de crescimento em altura de Leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.] por meio do Modelo ARIMA.** 2008. 64f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2008.

SILVEIRA, P.; KOEKLER, H.S.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v.38, n.1, p.185-206, 2008.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, MUUKKONEN, P.; LEHTONEN A.; WEISS, P. Indirect methods of large forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, [S.l.], Feb., 2006.

SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucaliptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n.33, p.65-72, 1986.

STEGEN, J.C.; SWENSON, N.G.; VALENCIA, R.; ENQUIST, B.J.; THOMPSON, J. Above-ground forest biomass is not consistently related to wood density in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 18, p. 617-625, 2009.

STEPHENSON, N. L.; VAN MANTGEM, P. J. Forest turnover rates follow global and regional patterns of productivity. **Ecology Letters**, v. 8, p. 524-531, 2005.

SWENSON, N. G.; ENQUIST, B. J. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. **American Journal of Botany**, v. 94, p. 451-459, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do ***Eucalyptus saligna*** e ***Eucalyptus grandis***. **IPEF**. n. 29, p. 37-45, 1985.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; MENEZES, L. F. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 377-387, 2007.

TREVISAN, R.; ELOY, E.; DENARDI, L.; HASELEIN, C. R.; CARON, B. O. Variação axial e efeito do desbaste na massa específica das árvores centrais de *Eucalyptus grandis.* **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 2, p. 312-318, 2012a.

TREVISAN, R.; DENARDI, L.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Efeito do desbaste e variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 393-399, 2012b.

VALE, A. T.; ROCHA, L. R.; MENEZZI, C. H. S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 387-394, 2009.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Biomassa e macronutrients de uma Floresta Estacional Decidual em Itaara-RS, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 99-105, 2013.

WANG, W.; ANDERSON, B. T.; PHILLIPS, N.; KAUFMANN, R. K.; POTTER, C.; MYNENI, R. B. Feedbacks of vegetation on summertime climate variability over the North American grasslands. Part I: Statistical analysis. **Earth Interactions**, v. 10, n. 17, p. 1-26, 2006.

WASHUSEN, R.; BAKER, T.; MENZ, D.; MORROW, A. Effect of thinning and fertilizer on the cellulose crystallite width of *Eucalyptus globulus*. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 39, n. 7, p. 569-578, 2005.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M.V.; GODINHO, T.O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 345-352, 2012.

WIELICKI, B. A.; WONG, T. M.; ALLAN, R. P.; SLINGO, A.; KIEHL, J. T.; SODEN, B. J.; GORDON, C. T.; MILLER, A. J.; YANG, S. K.; RANDALL, D. A.; ROBERTSON, F.;

SUSSKIND, J.; JACOBOWITZ, H. Evidence for large decadal variability in the tropical mean radiative energy budget. **Science**, v. 295, p. 841-844, 2002.

WIEMANN, M. C.; WILLIAMSON, G. B. Radial gradients in the specific gravity of wood in some tropical and temperate trees. **Forest Science,** v. 35, n. 1, p. 197-210, 1989.

WOODCOCK, D. W. Wood specific gravity of trees and forest types in the southern Peruvian Amazon. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 30, p. 589-599, 2000.

WÜRTH, M. K. R.; WINTER, K.; KÖRNER, C. *In situ* responses to elevated CO2 in tropical forest understorey plants. **Functional Ecology**, v. 12, p. 886-895, 1998.

3 CAPÍTULO II

DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA VIVA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

3.1 Resumo

É imprescindível o conhecimento do estoque de biomassa acima do solo em Floresta Estacional Decidual (FED) para a implementação de mecanismos de redução de emissões por desmatamento e degradação florestal (REDD) e recuperação de áreas degradadas. Em virtude disto, o presente estudo analisou a distribuição da biomassa acima do solo em FED. Foram instaladas sete unidade amostrais de 12 x 12 m onde toda a vegetação arbórea foi pesada diretamente em campo. Subunidades de 5 x 5 m e 1 x 1 m foram alocadas dentro das parcelas principais para quantificação da vegetação remanescente. O estoque médio de biomassa para a FED foi de 316,5 $Mg.ha^{-1}$. As árvores com o diâmetro à altura do peito (DAP) maior 10 cm representaram mais de 87% da biomassa (276,8 $Mg.ha^{-1}$). A biomassa das plantas com altura superior a 1,3 m e DAP < 5 cm foi de 6,9 $Mg.ha^{-1}$. Plantas com altura inferior a 1,3 m apresentaram uma biomassa de 1,5 $Mg.ha^{-1}$. A biomassa média da serapilheira foi de 15,6 $Mg.ha^{-1}$. Apenas o estrato 4 representa mais de 89% da biomassa acima do solo.

Palavras-chave: biomassa arbórea; biomassa florestal; sequestro de carbono.

DISTRIBUTION OF BIOMASS LIVING ABOVE GROUND IN DECIDUOUS FOREST

3.2 Abstract

It is essential to know the stock biomass aboveground in Floresta Estacional Decidual (FED) for the implementation of mechanisms for reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD) and or recovery of degraded areas. Therefore, the present study examined the distribution of aboveground biomass at FED. Seven units were installed sample of 12 x 12 m where all woody vegetation was weighed directly in the field. Subunits of 5 x 5 m and 1 x 1 m were installed within the main plots to quantify the remaining vegetation. The average stock of biomass to FED was 316.5 $Mg.ha^{-1}$. Trees with a diameter at breast height (DBH) greater than 10 cm accounted for over 87% of the biomass (276.8 $Mg.ha^{-1}$). The biomass of plants taller than 1.3 m DBH < 5 cm was 6.9 $Mg.ha^{-1}$. Plants with height less than 1.3 m had a biomass of 1.5 $Mg.ha^{-1}$. The average biomass of litter was 15.6 $Mg.ha^{-1}$. As the extract 4 is more than 89% of above-ground biomass.

Keywords: tree biomass; forest biomass; carbon sequestration.

3.3 Introdução

A Mata Atlântica representa a segunda maior floresta da América Latina, menor somente que a floresta Amazônica, aproximadamente, 1.500.000 km^2 (RIBEIRO et al., 2009b; IBGE, 2012). No Brasil, originalmente, a Mata Atlântica cobria a área de 1.315.460 km^2, deste, 48% foi composta por florestas estacionais (SOS MATA ATLÂNTICA, 2014) e menos que 8% do total está em fragmentos conservados (RIBEIRO et al., 2009b). No Rio Grande do Sul as florestas estacionais cobrem cerca de 13.865 km^2, o que corresponde a 4,9%

da área total sendo que a Floresta Estacional Decidual (FED) corresponde a 4,2% (11.762 km^2) (SEMA/UFSM, 2001).

Em razão do interesse para extração madeireira e pela expansão das fronteiras agrícolas, essa formação florestal sofreu forte exploração, sendo reduzida a menos de 2% da sua área original (MACHADO et al., 2013). Porém, com as restrições impostas pela legislação ambiental vigente, à exploração da FED vem diminuindo, assim, aumenta a necessidade de estudos que permitam o entendimento da dinâmica e desenvolvimento da floresta (IURK et al., 2009). Tais estudos propiciam a obtenção de informações adequadas para o planejamento de atividades de preservação e/ou manejo destes fragmentos florestais. Os fragmentos de FED apresentam grande importância dentre as unidades fitogeográficas brasileiras, pois estas são encontradas nas regiões tropicais e subtropicais.

Apesar de vários trabalhos sistematizados de quantificação e distribuição de biomassa florestal terem sido realizados no Brasil em áreas de FED tropical, ainda são necessários estudos de seus remanescentes, principalmente às áreas distribuídas nas regiões subtropicais. No sul do Brasil, são poucos os estudos relacionados com biomassa, podendo ser citados Watzlawick (2003), Watzlawick et al. (2012), Veres (2012) e Vogel, Shumacher e Trüby (2013), resalvando que, estes autores estudaram a distribuição da biomassa em até dois diferentes estratos. Watzlawick et al. (2012) separam a vegetação em dois segmentos, indivíduos arbóreo com mais de cinco centímetros de diâmetro à altura do peito (DAP) e sub-bosque com menos de cinco centímetros de DAP. No mesmo sentido, Vogel, Shumacher e Trüby (2013) estudaram apenas um estrato em FED no Rio Grande do Sul, através de estimavas por ajuste de equações alométricas, considerando indivíduos com DAP maior de 3,2 cm.

Trabalhos dessa natureza contribuem para o conhecimento das características do ecossistema e podem subsidiar diferentes tipos de projetos, como, por exemplo, Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa pelo Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) (CORTE et al., 2012) e recuperação de áreas degradadas, auxiliando para escolha do melhor planejamento florestal. Nesta perspectiva, o presente estudo teve como objetivo analisar a distribuição vertical do estoque de biomassa arbórea acima do solo, bem como as relações alométricas dos componentes aéreos.

3.4 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em dois fragmentos de Floresta Estacional Decidual (FED) (IBGE, 2012) localizados nos municípios de Frederico Westphalen (27º23'44" Sul e 53º25'59" Oeste, e a uma altitude de 520 a 550 m.s.n.m.), área 1, e Iraí (27º13'35" Sul e 53º18'59" Oeste, e a 240 m.s.n.m.) na confluência do Rio Uruguai com o Rio da Várzea, área 2. Toda a coleta e processamento dos dados foram efetuados durante os meses de janeiro a março de 2011 (Frederico Westphalen) e de maio a julho de 2012 (Iraí).

O clima da região é Subtropical muito úmido, com regime de chuvas equilibrado, porém, à redução da precipitação na estação do inverno, média anual entre 1.700 e 1.900 mm e temperatura média entre 20 e 23º C (ROSSATO, 2014). Os solos de Frederico Westphalen e Iraí são classificados como latossolo vermelho aluminoférrico e neossolo regolítico eutrófico, respectivamente (SANTOS et al., 2013).

Foram instaladas sete Unidades Amostrais (UA) de 12 x 12 m (144 m^2), três na área 1 e quatro na área 2, nas quais todos os indivíduos foram separados em quatro classes, o Estrato 1 (E1), composto por toda planta viva com altura total inferior à 1,3 m encontrada em três parcelas de 1 x 1 m (1 m^2) dentro das UA principais. A categoria Estrato 2 (E2) foi instalado duas parcelas de 5 x 5 m (25 m^2), dentro da parcela de 144 m^2, sendo amostradas as plantas com DAP < 5 cm e altura superior a 1,3 m, sendo também separadas em componente madeira e folhas. Nestas duas parcelas os indivíduos arbóreos e/ou arbustivos com DAP entre 5 e 10 cm foram classificados como Estrato 3 (E3), onde todas as plantas foram separadas nos componentes madeira (formado por galhos e fuste) e folhas. O Estrato 4 (E4), ou seja, com Diâmetro à Altura do Peito (DAP) > 10 cm, foram dissecados. Todas as árvores amostradas foram identificadas em nível de espécie, sendo coletadas as seguintes informações: DAP, altura total e altura do ponto de inversão morfológica (HPIM).

Em campo, os componentes da biomassa verde foram separados em fuste (F) com casca (CA), considerada como altura até o HPIM (HALLÉ, 2010), galhos grossos (GG) (diâmetro ≥ 5cm), galhos finos (GF) (diâmetro ≤ 4,9cm), folhas (FO) e miscelânea (MI) (cipós, lianas, bromeliáceas, etc., aderidas na árvore). Foram coletadas amostras para determinação do teor de umidade: para os galhos grossos e finos foram retiradas amostras de vários diâmetros em todas as camadas da copa; folhas foram coletas em vários pontos da copa contemplando os terços, superior, médio e inferior; e foi retirado disco na metade da altura do fuste. Destes discos, foi separada a casca da madeira, obtendo-se assim um fator de casca para

o fuste. Estes componentes foram pesados utilizando-se o dinamômetro Lider PR-30, com capacidade para 500 kg (mínimo 1 kg, erro ± 100 g).

Para obtenção dos dados de serapilheira (SR) foram coletadas dez amostras em cada parcela, distribuídas aleatoriamente, utilizando-se um gabarito de 0,25 x 0,25 m (0,0625 m^2) e pesagem em laboratório. Todas as amostras verdes foram pesadas em balança de precisão (0,001 g) ao final do turno de trabalho e colocadas em estufa com circulação e renovação de ar a 60° C até atingirem peso constante.

O sistema de classificação Botânica adotado para angiospermas foi o "Angiosperm Phylogeny Group" (APG III, 2009). Para as gimnospermas utilizou-se a classificação proposta por Christenhusz et al. (2011). Os nomes científicos das espécies foram verificadas junto ao sítio de internet da Lista de Espécies da Flora do Brasil 2014 (FORZZA et al., 2010).

3.5 Resultados e Discussão

No estrato arbóreo foram encontradas 66 árvores pertencentes a 34 espécies, de 15 famílias, onde *Trichilia claussenii* C.DC. (6), *Inga marginata* Willd. (4), *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr. (4), *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl. (4), *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez (4), *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanjouw & Boer (4) e *Calyptranthes tricona* D. Legrand (4) foram as espécies com o maior número de indivíduos. No E3 foram analisadas 38 árvores e arbustos, de 14 espécies, sendo as principais *Gymnanthes concolor* (Spreng.) Müll. Arg. (10) e *Sorocea bonplandii* (7). No E2 foram analisados 120 exemplares de 25 espécies, sendo *Eugenia schottiana* O. Berg (25), *Gymnanthes concolor* (15) e *Sorocea bonplandii* (15) as principais. Para o E1 não foi realizada a identificação de espécies.

O estoque de biomassa seca acima do solo de todos os estratos considerados na FED em estudo é de 5343,8 $kg.UA^{-1}$ (Tabela 3.1), correspondendo a 371,1 $Mg.ha^{-1}$. O estoque está dividido entre os extratos do seguinte modo: E4 4759,1; E3 225,1; E2 99,3; E1 35,4 $kg.UA^{-1}$ e a SR com 224,3 $kg.UA^{-1}$. A biomassa do E4 está distribuída da seguinte forma: galhos grossos (1753,8 $kg.UA^{-1}$) seguido de madeira do fuste (1737,8 $kg.UA^{-1}$), > galhos finos (544,3 $kg.UA^{-1}$), > miscelânea (393,1 $kg.UA^{-1}$), > casca (214,9 $kg.UA^{-1}$) e > folhas (115,8 $kg.UA^{-1}$) (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Distribuição da biomassa vegetal acima do solo e serapilheira (Mg.ha-1) em Floresta Estacional Decidual (FED), nos municípios de Frederico Westphalen e Iraí, RS, Brasil.

Área	UA	E4						E3		E2		E1	SR	Total
		F	GG	GF	FO	MI	CA	CG	FO	CG	FO			
1	1	2772,8	2671,5	1021,2	234,7	578,0	200,5	282,2	22,8	58,6	11,5	65,2	198,0	8117,1
	2	2715,9	2234,9	726,5	151,1	500,7	179,3	180,9	9,8	189,7	30,7	29,1	152,3	7100,9
	3	2212,3	2281,1	843,6	263,2	570,7	168,0	43,9	7,9	69,9	10,8	17,4	182,3	6670,9
2	4	378,2	442,9	137,2	30,2	349,6	105,9	255,2	15,8	50,0	9,5	45,9	194,9	2015,2
	5	718,5	1036,1	430,0	58,7	152,1	85,2	24,4	1,0	52,4	9,9	40,0	175,4	2783,8
	6	1334,6	550,8	197,9	45,5	121,8	164,1	303,9	21,0	70,1	8,9	32,1	149,2	2999,7
	7	2032,1	3059,5	453,9	27,2	478,8	601,2	378,6	28,4	109,9	13,6	18,4	517,6	7719,1
Média		**1737,8**	**1753,8**	**544,3**	**115,8**	**393,1**	**214,9**	**209,9**	**15,2**	**85,8**	**13,6**	**35,4**	**224,2**	**5343,8**
	S	947,8	1059,7	331,0	100,4	190,7	175,2	133,8	9,6	50,0	7,7	16,8	130,7	2623,9
	CV%	54,5	60,4	60,8	86,7	48,5	81,5	63,7	62,8	58,3	56,9	47,3	58,3	49,1
	IC	1737,8 ± 702,1	1753,8 ± 785,0	544,3 ± 245,2	115,8 ± 74,4	393,1 ± 141,3	214,9 ± 129,8	209,9 ± 99,1	15,2 ± 7,1	85,8 ± 37,0	13,6 ± 5,7	35,4 ± 12,4	224,2 ± 96,9	5343,8 ± 1943,8
%* Geral		32,5	32,8	10,2	2,2	7,4	4,0	3,9	0,3	1,6	0,2	0,7	4,2	100
% Geral**				**89,1**				**4,1**		**1,9**		**0,7**	**4,2**	**100**

* porcentagem do componente de cada estrato em relação ao total da biomassa; UA= Unidade Amostral; S= Desvio Padrão (Mg.ha^{-1}); CV%= Coeficiente de Variação em percentagem; IC= Intervalo de confiança com 5% de probabilidade de erro; ** porcentagem de cada estrato em relação ao total da biomassa. Onde: E1= Árvores com DAP maior que 10 cm; E2= Árvores com DAP entre 5 e 10 cm; E3= Plantas com mais de 1,3 m de altura e DAP menor que 5 cm; E4= Plantas menores que 1,3 m; SR= Serapilheira; F= Biomassa do Fuste; GG= Galhos Grossos; GF= Galhos Finos; CA= Casca; FO= Folhas; MI= Miscelânea; CG= Caule e galhos.

Apenas o componente GG representou 32,8% de toda a biomassa acumulada acima do solo. Todas as árvores com DAP menor do que 10 cm, ou seja, regeneração rasteira e serapilheira somaram 10,9% do total de biomassa. Quando comparamos a distribuição da biomassa dos compartimentos nas classes de diâmetro, observa-se que na classe de diâmetro das árvores com DAP maior que 40 cm que os GG possuem o segundo peso de importância (Figura 3.1).

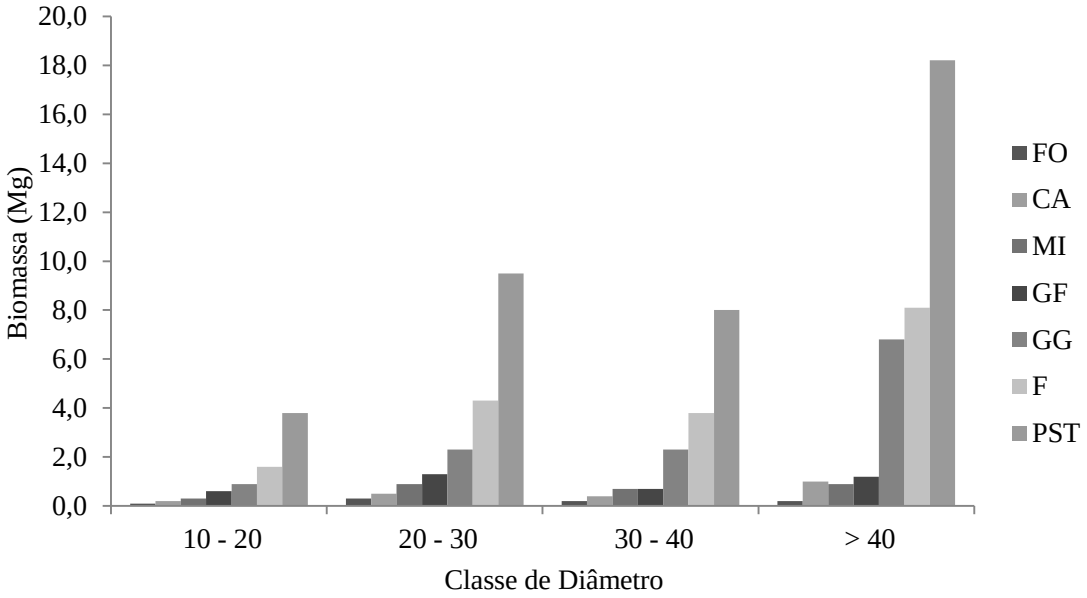

Figura 3.1 – Biomassa total e por compartimento, Fuste (F), GAlhos Grossos (GG), Galhos Finos (GF), Casca (CA), Folhas (FO), Miscelâneas (MI) e Biomassa total (PST) em cada classe de diâmetro.

Neste estudo, o peso dos galhos somados (GG+GF) é de 2298,2 kg.UA^{-1} (43,0% da biomassa total). No trabalho de Brun et al. (2005) esta porcentagem é de 30,3% e 21,5% para floresta secundária média e inicial. Em ambos os trabalhos os galhos foram considerados a partir do ponto de inversão morfológica. Isto demonstra uma tendência de aumento da alocação de biomassa nos galhos. Vogel, Shumacher e Trüby (2013), também para FED, geraram as estimativas por hectare a partir do ajuste e uso de equações de biomassa e neste caso os galhos tiveram maior participação, 48,8% e a madeira do fuste 43,3%. Watzlawick et al. (2012) encontraram 45,0% da biomassa alocada nos galhos, estes considerados a partir do ponto de inversão morfológica.

A biomassa acumulada em diferentes estádios sucessionais de Floresta Ombrófila Mista Montana, em General Carneiro-PR, foi estudada por Watzlawick et al. (2004), que relataram valores de 69,4 Mg.ha^{-1}, 168,8 Mg.ha^{-1} e 397,8 Mg.ha^{-1} para estádio inicial, médio e avançado, respectivamente. Os resultados obtidos por Socher, Roderjan e Galvão (2008) para Floresta Ombrófila Mista Aluvial mostram uma biomassa seca de aproximadamente 170,0 Mg.ha^{-1}, sendo que as porções que mais contribuíram para esse valor foram madeira (52,84%), galhos grossos (35,19%) e galhos finos (5,12%).

Neste trabalho, a biomassa da miscelânea[1] presente nas árvores representou 393,1 kg.UA^{-1}. Esta grande quantidade de cipós e lianas foi encontrada apenas nas árvores mais altas e de maior diâmetro (dominantes). Alguns cipós incluídos na miscelânea apresentavam diâmetros entre 10 a 15 cm. Esta biomassa foi, aproximadamente, sete vezes superior que o encontrado para as folhas (6,2 Mg.ha^{-1}). São raros os trabalhos que avaliem separadamente a biomassa de cipós e lianas. Brun et al. (2005) ao estudarem a FED encontraram valores de 14,6 e 7,8 Mg.ha^{-1} em fragmentos florestas secundária em estágio inicial (33 anos) e médio (53 anos) de sucessão.

Isto demonstra que este componente não pode ser desconsiderado em estudos de biomassa, especialmente em FED. Além disso, medidas e estimativas feitas a partir de técnicas do sensoriamento remoto devem atentar para a importância desse material na resposta espectral do dossel e nos distintos tipos de modelagem direta e inversa. O efeito de sombreamento das árvores de maior porte pode alterar significativamente a resposta espectral do dossel e interferir nos valores estimados.

A média da biomassa para serapilheira nas sete UA foi de 224,3 Kg. Resultados inferiores foram encontrados por Watzlawick et al. (2012) em seu estudo em Floresta Ombrófila Mista, no município de General Carneiro-PR, onde o valor de biomassa médio da serapilheira para os três estágios de regeneração foi de 8,01 Mg.ha^{-1} e por Socher, Roderjan e Galvão (2008) em Floresta Ombrófila Mista, no município de Araucária-PR, de 4,36 Mg.ha^{-1}.

O modo de estratificação da biomassa acima do solo utilizado neste trabalho evidenciou a grande importância das árvores com DAP > 10 cm, tornando pertinente a análise detalhada do estrato E4, bem como a biomassa determinada para cada um de seus componentes: F, GG, CA, GF, FO e MI.

Caso fossem selecionadas as sete maiores árvores, uma de cada UA, dentre as 66 com DAP ≥ 10 cm, elas representariam aproximadamente 48,0% da biomassa total das UAs, variando de 27,6 a 82,2%. Quando consideramos as três árvores mais grossas de cada UA estas porcentagem aumentam para 64,3%, 94,1%, 78,6%, 92,1%, 66,3%, 62,8% e 60,5% dos pesos das UA 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente (Figura 3.2). Deste modo, o estrato E4, com árvores de DAP ≥ 10 cm representam em média 87,1% da biomassa total da floresta (Figura 3.3). Esta informação indica que para estudos estratégicos que envolvam grandes regiões ou até um país inteiro, devem direcionar seus esforços na medição destas árvores de grande porte da floresta.

[1] Miscelânea, componente arbóreo composto de lianas, epífitas e todos os outros tipos de material vegetal aderido ao indivíduo.

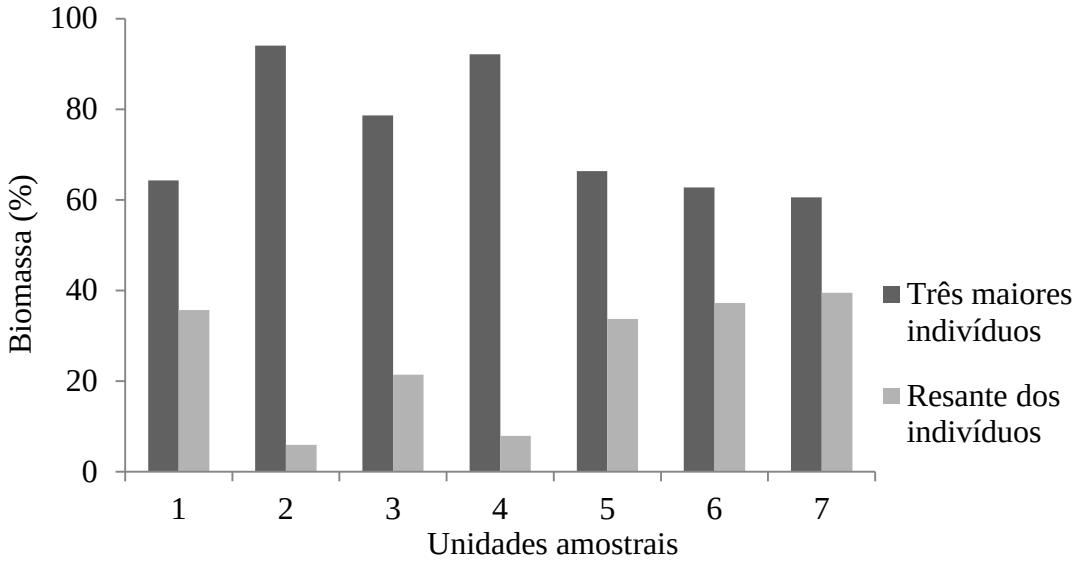

Figura 3.2 – Biomassa das três maiores árvores e a biomassa das árvores restantes com DAP > 10 cm de cada Unidade Amostral (UA).

Figura 3.3 – Distribuição da biomassa florestal nos diferentes estratos da floresta estacional decidual.
Fonte: Adaptado de Roderjan et al. (2002).

Algumas dessas árvores encontravam-se ocas ou em franco processo de apodrecimento a partir da medula. Por isso, as estimativas de biomassa obtidas pelo produto da massa específica básica da madeira e do volume do fuste, podem acarretar em erros significativos. Este fato é uma das fontes de erro no ajustamento de equações alométricas para estimar a biomassa das árvores e deve ser alvo de trabalhos futuros.

Os resultados das amostragens por métodos destrutivos são por vezes questionados (SILVEIRA et al., 2008). Brown; Gillespie; Lugo (1989) afirmam que os métodos diretos fornecem estimativas muito polêmicas, em função das estimativas estarem fundamentadas em

poucas e pequenas UA. Do mesmo modo, Fearnside (1991) contesta as críticas feitas por Brown et al. (1989), observando que os métodos indiretos são menos tendenciosos, mas suas estimativas, por outro lado, ficam muito aquém de todos os valores já obtidos por meio dos métodos diretos.

Sobre esta polêmica foi possível entender alguns aspectos em relação a distribuição do estoque de biomassa e consequentemente de carbono em florestas subtropicais, como: as árvores de grande diâmetro devem ser cuidadosamente analisadas, pois poucos indivíduos podem representar mais da metade da biomassa de toda a floresta. Neste estudo as três maiores árvores de cada UA, somadas, constituem mais de 60% de toda a biomassa acima solo (Figura 3.2).

3.6 Conclusões

A FED em estudo armazena 371,1 $Mg.ha^{-1}$ de biomassa acima do solo. Os galhos grossos são o compartimento com maior estoque de biomassa, seguido de fuste, galhos finos, miscelâneas, cascas e folhas, totalizando 32,8; 32,5; 10,2; 7,4; 4,0 e 2,2%, respectivamente, de toda biomassa dos fragmentos.

O Estrato 4 (DAP > 10 cm) corresponde a mais de 89% do total de biomassa estocado acima do solo.

3.7 Referências

APG (Angiosperm Phylogeny Group). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society.** v.161, p. 105-121, 2009.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, Lawrence, v. 35, p. 881-902, 1989.

BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; CORRÊA, R. S.; BRUN, F. G. K; VACCARO, S. Variação sucessional no acúmulo de biomassa em Floresta Estacional Decidual, Santa Tereza – RS. **Biomassa e Energia**, Viçosas, v. 2, n. 1, p. 47-56, 2005.

CHRISTENHUSZ, M. J. M.; REVEAL, J. L.; FARJON, A.; GARDNER, M. F.; MILL, R. R. & CHASE, M. W. A New Classification and Linear Sequence of Extant Gymnosperms. **Phytotaxa**, New Zealand, Auckland, v. 19, n. 1, pp. 19, 55, 70, 2011.

CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; KIRCHNER, F. F.; ROSOT, N. C. Os projetos de redução de emissões do desmatamento e da degradação florestal (REDD). **Floresta,** Curitiba, v. 42, n. 1, p. 177-188, 2012.

FEARNSIDE, P. M.; Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. In: LEVINE, J. S. (Ed.) **Global Biomass Burning**: Atmospheric Climatic and Biospheric Implications. Boston: MIT, p. 92-105, 1991.

FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ, J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CARVALHO JR., A. A.; COSTA, A.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; NADRUZ COELHO, M. A.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T. & ZAPPI, D. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010. 1699p.

HALLÉ, F. Arquitectura de los árboles. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 45, n. 3-4, p. 405-418. 2010.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro. IBGE. 2012. 271p.

IURK, M. C.; SANTOS, E. P.; DLUGOSZ, F. L.; TARDIVO, R. C. Levantamento florístico de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial do Rio Iguaçu, município de Palmeira, PR. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 605-617, jul./set. 2009.

MACHADO, S. A.; ZAMIN, N. T.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; MENEGAZZO, C. S. Comparação dos parâmetros fitossociológicos entre três estratos de um fragmento de floresta ombrófila mista. **Cerne,** Lavras, v. 19, n. 3, p. 365-372, jul./set. 2013.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009b.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, v. 24, p. 75-92, 2002.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, F. (Org.). **Os climas do Sul: Em tempos de mudanças climáticas globais**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217-271.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, EMBRAPA, 353p, 2013.

SEMA/UFSM-RS. Governo do Estado. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Relatório Final do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul. Porto Alegre**, 2001. 706 p. v. 1-2.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Revista Floresta**, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária (PR). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 245-252, 2008.

SOS MATA ATLÂNTICA. A Mata Atlântica. Floresta, 2014. Disponível em: <http://www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/>. Acesso em: 11 nov, 2014.

VERES, Q. J. I. **Fitossociologia, dinâmica e biomassa de um fragmento da floresta estacional semidecidual - Parana**. Irati: UNICENTRO, 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro-Oeste.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Biomassa e macronutrientes de uma Floresta Estacional Decidual em Itaara, RS, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 99-105. 2013.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II**. Curitiba: UFPR, 2003. 120f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHENER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. Fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R. et al. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004. p. 153-173.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 345-352, 2012.

4 CAPÍTULO III

AJUSTE DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL

4.1 Resumo

O presente trabalho teve por objetivo testar e ajustar modelos alométricas para estimativa de biomassa em Floresta Estacional Decidual. Os dados são provenientes de sete parcelas de 12 x 12 m, onde foram abatidas 91 árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior que 5 cm, sendo mensurado o DAP, altura total (H) e peso seco total (PST), para cada indivíduo. As equações ajustadas, sem estratificação, apresentam coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) entre 0,726 à 0,972 e erro padrão da estimativa em porcentagem (S_{xy}%) variando de 33,5 a 119,6. O melhor modelo ajustado, para o conjunto de dados não estratificado, foi obtido por meio do procedimento de *Stepwise*, sendo representado pela seguinte equação: $PST = \beta_0 + \beta_1.(DAP^3) + \beta_2.H + \beta_3.(DAP^3.H)$, com $R^2_{aj.}$ de 0,972 e S_{xy}% de 33,5. Para a forma estratificada, apenas a classe de diâmetro acima de 15 cm apresentaram parâmetros aceitáveis, com $R^2_{aj.}$ de 0,968 e S_{xy}% de 26,8. Dessa forma o atual banco de dados demostrou bons resultados nos ajustes de modelos matemáticos para estimar o PST de cada árvore.

Palavras chaves: sequestro de carbono, equações alométricas, biomassa de árvores.

ADJUSTMENT FOR BIOMASS EQUATIONS ALLOMETRIC ESTIMATE IN DECIDUOUS FOREST

4.2 Abstract

The present study aimed to test and adjust Allometric models for estimating biomass in Deciduous Forest. The data are from seven plots of 12 x 12 m was felled 91 trees with a diameter at breast height (DAP) greater than 5 cm, and measured the DAP, total height (H) and total dry weight (PST) for each individual. The equations adjusted, without stratification, have determination coefficient ($R^2_{aj.}$) between 0,736 to 0972 and standard error of the estimate in percentage (S_{xy}%) ranging from 33.5 to 119.6. The best fit model was obtained by the stepwise procedure, being represented by the following equation: $PST = \beta_0 + \beta_1.(DAP^3) + \beta_2.H + \beta_3.(DAP^3.H)$, with $R^2_{aj.}$ of 0.972 and S_{xy}% of 33.5. For the stratified, only diameter class above 15 cm showed acceptable parameters, with $R2_{aj}$. 0.968 and S_{xy} 26.8%. Thus the current database has shown good results in adjustments of mathematical models to estimate the PST of each tree.

Key words: carbon sequestration, alometric equations, tree biomass

4.3 Introdução

O Ministério do Meio Ambiente, por meio do Serviço Florestal Brasileiro, está implementando o Inventário Florestal Nacional (IFN). Associado ao IFN há um programa de pesquisa que tem importância estratégica diante das inúmeras demandas de estudos visando à estimativa de biomassa florestal acima do solo.

As informações sobre a quantidade de biomassa florestal auxiliam a entender o acúmulo de energia nos ecossistemas florestais e também servem como indicador ecológico de sustentabilidade (ABOAL et al., 2005). Dados confiáveis sobre biomassa florestal acima do solo são úteis para a implementação de projetos para Redução de Emissões por

Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) (ANGELSEN, 2008; AVITABILE et al., 2011; CORTE et al., 2012), recentemente introduzido no Protocolo de Quioto. Estas estimativas ajudam na avaliação da produtividade das florestas e do sequestro e estoque de carbono nos diferentes compartimentos florestais como tronco, galhos e folhas (NÁVAR, 2009).

A quantificação da biomassa pode ser realizada de modo direto e indireto. O método direto implica na derrubada da árvore para a determinação exata de seu peso e medidas (BALBINOT et al. 2009; SVOB; ARROYO-MORA; KALACSKA, 2014). Esse procedimento é imprescindível para um primeiro conhecimento das características das espécies de interesse. Porém, tão logo se obtenha um número significativo de determinações, podemos lançar mão dos métodos indiretos, tais como os modelos de regressão. Utilizando esse método, é possível abranger grandes extensões florestais e reduzir significativamente a magnitude dos recursos financeiros necessários para o trabalho (BALBINOT et al., 2009).

Para aplicação em florestas locais modelos simples podem ser utilizados, apenas com o diâmetro a altura do peito (DAP), quando estes existem são a melhor opção prática para estimar a biomassa (LITTON; KAUFFMAN, 2008; BASUKI et al, 2009). Em escala regional, os modelos baseados apenas no DAP podem ter maior grau de incerteza que os modelos mais complexos. A estimativa da biomassa da árvore pode ser melhorada com a inclusão da altura total da árvore (BROWN, 1997; WANG et al, 2006; NOGUEIRA et al, 2008). Sobre este aspecto, o presente estudo tem por objetivo testar modelos tradicionalmente utilizados para estimar o volume, bem como ajustar equações alométricas para estimar a biomassa arbórea acima do solo em Floresta Estacional Decidual.

4.4 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em dois fragmentos de Floresta Estacional Decidual (FED) (IBGE, 2012) localizados nos municípios de Frederico Westphalen (27º23’44” Sul e 53º25’59” Oeste e a uma altitude de 520 a 550 m.s.n.m.), e Iraí (27º13’35” Sul e 53º18’59” Oeste e a 240 m.s.n.m.) na confluência do Rio Uruguai com o Rio da Várzea. Toda a coleta e processamento dos dados foram efetuados durante os meses de janeiro a março de 2011 (Frederico Westphalen) e de maio a julho de 2012 (Iraí).

O clima da região é Subtropical muito úmido, com regime de chuvas equilibrado, porém, à redução da precipitação na estação do inverno, média anual entre 1.700 e 1.900 mm e temperatura média entre 20 e 23º C (ROSSATO, 2014). Os solos de Frederico Westphalen e Iraí são classificados como latossolo vermelho alumino férrico e neossolo rigolítico eutrófico, respectivamente (SANTOS et al., 2013).

Foram instaladas sete parcelas de 12 x 12 m (144 m²), onde todas as árvores com DAP ≥ 5 cm eram abatidas e coletadas as seguintes informações: DAP, altura total e o peso seco total (PST). Estes componentes foram pesados utilizando-se o dinamômetro Lider PR-30, com capacidade para 500 kg (mínimo 1 kg, erro ± 100 g). Todas as amostras verdes foram pesadas em balança de precisão (0,001 g) ao final do turno de trabalho, e colocadas em estufa com circulação e renovação de ar a 60° C até atingirem peso constante, este procedimento foi realizado no laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais (UFSM-Campus Frederico Westphalen).

Os modelos alométricos foram ajustados para toda base de dados e posteriormente foi empregada a estratificação em duas classes diamétricas. Com base nos trios de dados de biomassa, altura total e diâmetro, foram testados doze modelos alométricos, dispostos na Tabela 4.1. Esses modelos foram ajustados para toda a base de dados e em cada situação da estratificação, estes foram selecionados, pois são as equações mais tradicionais de volumetria da área de manejo florestal.

Tabela 4.1 – Modelos matemáticos testados para as estimativas do Peso Seco Total (PST).

Nº	Modelos	Autor
	Aritméticos	
1	$PST = \beta_0 + \beta_1.DAP + \varepsilon_i$	Berkhout
2	$PST = \beta_0 + \beta_1.DAP^2 + \varepsilon_i$	Kopezky-Gehrhardt
3	$PST = \beta_0 + \beta_1.(DAP^2.H) + \varepsilon_i$	Spurr
4	$PST = \beta_0 + \beta_1.DAP + \beta_2.DAP^2 + \beta_3.(DAP.H) + \beta_4.(DAP^2.H) + \beta_5.H + \varepsilon_i$	Meyer
5	$PST = \beta_0 + \beta_1.DAP + \beta_2.DAP^2 + \beta_3.(DAP.H^2) + \beta_4.(DAP^2.H) + \varepsilon_i$	Meyer Modificada
6	$PST = \beta_0 + \beta_1.DAP^2 + \beta_2.(DAP^2.H) + \beta_3.(DAP.H^2) + \beta_4.H^2 + \varepsilon_i$	Naslund Modificada
7	$PST = \beta_0 + \beta_1.H + \beta_2.DAP^2 + \beta_3.(DAP^2.H) + \varepsilon_i$	Stoate
8	$PST = \beta_0 + \beta_1.DAP + \beta_2.DAP^2 + \varepsilon_i$	Hohenald-Gehrhardt
9	*Stepwise*	
	Logarítmicos	
10	$ln\ PST = \beta_0 + \beta_1.(ln\ DAP) + \varepsilon_i$	Husch
11	$ln\ PST = \beta_0 + \beta_1.(ln\ DAP^2) + \beta_2.(ln^2DAP) + \beta_3.(ln\ H) + \beta_4.(ln^2H) + \varepsilon_i$	Prodan
12	$ln\ PST = \beta_0 + \beta_1.\ ln\ (DAP^2.H) + \varepsilon_i$	Spurr
13	$ln\ PST = \beta_0 + \beta_1.(ln\ DAP) + \beta_2\ (lnH) + \varepsilon_i$	Schumacher - Hall
14	*Stepwise*	

Onde: βo, β_1, β_2, β_3, β_4 e β_5 = coeficientes estimados por regressão; DAP = diâmetro à altura do peito; log = logarítimo na base 10; PST = peso seco total da árvore; H = altura total.

Para a análise dos dados estes foram submetidos à análise pelo pacote "*Statistical Analysis System*" (SAS, 1993), no qual foi, primeiramente, aplicado o procedimento *Stepwise* de modelagem de regressão. No segundo momento foi realizado o procedimento de regressão. O melhor modelo foi selecionado com base no coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro padrão da estimativa em porcentagem (S_{xy}%), valor de significância do teste *F* calculado a 5% de probabilidade de erro, a significância dos coeficientes de regressão (βo, β_1, β_2, β_3, β_4 e β_5) pelo teste *t* e análise gráfica da distribuição dos resíduos.

Nos modelos logarítmicos de Prodan (11), Spurr (12), Schumacher-Hall (13) e o *Stepwise*, que utilizou a base de dados na forma logarítmica, a discrepância logarítmica na estimativa da variável dependente, ao se efetuar a operação inversa para obtenção da variável de interesse, foi corrigida multiplicando-se a altura estimada pelo Fator de Correção de Meyer (FM), conforme metodologia aplicada por Trautenmüller et al. (2014a): $FM = e^{0,5.QM}$; em que: *FM* = fator de correção de Meyer; *e* = exponencial; e *QM* = Quadrado Médio do resíduo.

Também foram avaliados o teste *F*, a significância dos coeficientes de regressão (βo, β_1, β_2, β_3 e β_4) pelo teste *t* e a análise gráfica dos resíduos, com os valores estimados representados graficamente em função da altura de cada indivíduo.

4.5 Resultados e Discussão

Foram amostradas 91 árvores, sendo que quatro indivíduos foram retirados dos ajustes, dois por apresentarem a copa quebrada e duas por terem características distintas de massa específica básica (MEB) com relação ao restante do banco de dados (uma apresentava MEB menor que 0,1 $g.cm^{-3}$, uma com grande parte do fuste oco). Dessa forma foram utilizados 87 indivíduos, pertencentes a 36 diferentes espécies, onde *Sorocea bonplandii* (11), *Trichilia claussenii* (9), *Nectandra megapotamica* (6) e *Inga marginata* (5) foram às espécies com o maior número de indivíduos. As características dendrométricas de cada árvore podem ser visualizadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Árvores com DAP > 5 cm abatidas em cada uma das Unidades Amostrais de 144 m² com suas medidas de altura total (H), diâmetro a altura do peito (DAP) e peso seco total (PST).

A	Espécie	H (m)	DAP (cm)	PST
1	*Inga marginata* Willd	10,7	14,3	42,0
2	*Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.	9,9	12,1	67,1
3	*Inga marginata* Willd	16,4	11,0	62,9
4	*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl.	10,6	18,4	141,2
5	*Holocalyx balansae* Micheli	13,1	32,5	695,5
6	*Inga marginata* Willd	11,2	17,3	154,6
7	*Leandra acutiflora* (Naudin) Cogn.	9,2	12,7	55,4
8	*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl.	12,2	17,1	133,3
9	*Calyptranthes tricona* D.Legrand	8,5	11,5	64,2
10	*Calyptranthes tricona* D.Legrand	13,7	27,8	600,9
11	*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl.	9,7	14,7	74,0
12	*Trichilia claussenii* C.DC.	13,1	20,4	268,8
13	*Maclura tinctoria* (L.) Don ex Steud.	21,8	40,7	1463,4
14	*Trichilia claussenii* C.DC.	15,8	29,0	540,6
15	*Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanjouw & Boer	9,0	11,7	44,1
16	*Calyptranthes tricona* D.Legrand	9,4	10,8	57,1
17	*Inga marginata* Willd	10,5	11,7	40,7
18	*Alchornea triplinervia* (Spreng.) M. Arg.	8,9	11,7	19,4
19	*Alchornea triplinervia* (Spreng.) M. Arg.	16,0	29,3	442,7
20	*Alchornea triplinervia* (Spreng.) M. Arg.	10,5	18,5	77,5
21	*Calyptranthes tricona* D.Legrand	9,8	18,3	199,7
22	*Trichilia claussenii* C.DC.	6,0	17,8	78,2
23	*Ficus guaranitica* Chodat & Vischer	12,2	23,3	145,5
24	*Ficus guaranitica* Chodat & Vischer	8,3	10,9	18,7
25	*Pilocarpus pennatifolius* Lem.	10,3	13,1	134,0
26	*Trichilia claussenii* C.DC.	9,9	11,1	58,3
27	*Trichilia claussenii* C.DC.	11,4	16,5	167,2
28	*Cordia americana* (L.) Gottshling & J.E.Mill.	24,1	79,3	5471,1
29	*Cordia americana* (L.) Gottshling & J.E.Mill.	12,0	27,4	395,9
30	*Cordia americana* (L.) Gottshling & J.E.Mill.	11,2	25,4	261,9
31	*Trichilia clausseni* C.DC.	11,1	14,0	62,9
32	*Trichilia elegans* A. Juss.	9,1	10,3	23,3
33	*Gymnanthes concolor* (Spreng.) Müll.Arg.	6,4	10,8	31,8
34	*Trichilia catigua* A. Juss	14,6	20,8	411,9
35	*Eugenia rostrifolia* D. Legrand	10,5	10,4	45,6
36	*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl.	10,4	12,4	52,6
37	*Chrysophyllum marginatum* (Hook. & Arn.) Radlk.	16,3	25,8	211,4
38	*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.	12,9	33,3	450,8
39	*Chrysophyllum marginatum* (Hook. & Arn.) Radlk.	16,2	19,7	270,5
40	*Cedrela fissilis* Vell.	22,9	48,5	1063,9
41	*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg.	16,4	22,0	234,5
42	*Chrysophyllum marginatum* (Hook. & Arn.) Radlk.	21,3	36,2	808,0
43	*Machaerium stipitatum* (DC.) Vogel	18,6	23,7	354,1
44	*Eugenia rostrifolia* D. Legrand	27,4	22,4	567,3
45	*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.	18,0	22,8	252,6
46	*Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman	17,4	22,0	358,5
47	*Erythrina falcata* Benth.	7,4	10,7	12,6
48	*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr.	19,2	11,7	100,8
49	*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.	16,8	28,0	385,0
50	*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr.	21,3	23,6	482,5
51	*Parapiptadenia rígida* (Benth.) Brenan	25,2	58,9	2469,4
52	*Guarea macrophylla* Vahl.	5,9	10,4	30,4
53	*Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger	9,7	12,8	74,9
54	*Cordia ecalyculata* Vell.	14,7	23,9	229,6

Continua....

...continuação

55	*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr.	18,2	17,6	206,9
56	*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr.	13,3	15,6	419,2
57	*Tetrorchidium rubrivenium* Poepp. & Endl.	21,7	40,9	628,2
58	*Alchornea sidifolia* Müll. Arg.	15,9	34,5	634,1
59	*Myrocarpus frondosus* Allemão	20,2	39,2	1251,6
60	*Picrasma crenata* (Vell.) Engl.	11,3	16,2	50,7
61	*Casearia sylvestris* Sw.	15,3	21,7	258,9
62	*Tabebuia cassiniodes* Lam.	20,3	39,0	756,0
63	*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez	8,5	9,9	21,8
64	*Cabralea canjerana* (Vell.) Mart.	9,2	7,3	9,5
65	*Pilocarpus pennatifolius* Lem.	8,7	5,4	16,6
66	*Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger	5,9	6,9	10,6
67	*Trichilia claussenii* C. DC.	6,7	6,3	9,7
68	*Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger	6,4	6,6	10,3
69	*Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger	6,4	7,6	16,8
70	*Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger	5,5	5,6	8,8
71	*Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger	6,7	6,2	7,9
72	*Trema micrantha* (L.) Blume.	8,0	5,6	14,8
73	*Aloysa virgata* (Ruiz & Pav.) Juss.	8,2	6,1	16,5
74	*Inga marginata* Willd.	7,6	7,5	14,7
75	*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez	6,7	5,2	7,0
76	*Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger	5,8	6,6	6,6
77	*Gymnanthes concolor* Spreng.	5,8	8,0	10,4
78	*Trichilia catigua* A. Juss.	7,1	6,9	17,2
79	*Trichilia catigua* A. Juss.	7,2	8,5	44,8
80	*Gymnanthes concolor* Spreng.	5,9	5,2	11,0
81	*Pilocarpus pennatifolius* Lem.	8,0	7,4	18,5
82	*Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger	6,2	5,0	5,2
83	*Trichilia claussenii* C. DC.	9,5	9,1	34,3
84	*Gymnanthes concolor* Spreng.	5,1	5,3	9,5
85	*Pilocarpus pennatifolius* Lem.	8,4	7,6	35,5
86	*Trichilia claussenii* C. DC.	6,3	7,9	13,7
87	*Gymnanthes concolor* Spreng.	5,3	6,0	13,5
88*	*Machaerium stipitatum* (DC.) Vogel	20,25	72,22	1622,6
89*	*Chorisia speciosa* St.Hil.	11,2	32,7	91,9
90*	*Luehea divaricata* Martius & Zucarini	3,8	10,3	9,3
91*	*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez	14,5	48,6	914,8

* não utilizadas no ajuste.

As florestas subtropicais apresentam grande número de espécies por hectare (CHAVE et al., 2005), nos estudos de biomassa nesse tipo de floresta o ajuste de modelos alométricos e realizado para todas as espécies e não por espécie.

Existe grande amplitude entre os PST das árvores, variando de 5,2 a 5471,1 kg. As estatísticas básicas que constam na Tabela 4.3 mostram um desvio padrão de 674,9 kg, erro padrão de 72,4 kg e variância de 455.525,9 kg. Em trabalhos como este que consideram todas as plantas com DAP $\geq$ 5 cm os erros costumam ser elevados, principalmente em virtude da variabilidade da arquitetura arbórea, como já foi visto por Hálle (2010) e Costa et al. (2012). Porém, outros aspectos foram identificados: como a presença de fustes ocos ou atacados por fungos que reduzem a massa específica básica (peso) da madeira do fuste, e a ocorrência de copas quebradas. Estes aspectos têm como consequência a heterocedasticidade dos dados, isto é, a variância do erro não é constante para todas as observações.

Tabela 4.3 – Estatísticas descritiva das 91 árvores amostradas em Floresta Estacional Decidual (FED).

Estatística	Variável		
	H (m)	DAP (cm)	Biomassa (kg)
Mínimo	5,1	5,0	5,2
Média	11,9	17,8	293,7
Máximo	27,4	79,3	5471,1
Desvio padrão	5,3	12,9	674,9
Erro padrão	0,6	1,4	72,4
Variância	28,5	166,0	455.525,9

Para o procedimento de *stepwise* o modelo foi definido pela equação PST = f (DAP; DAP^2; DAP^3; DAP^4; DAP.H; DAP^2.H; DAP^3.H; DAP^4H; H; H^2; DAP.H^2; DAP^2.H^2; DAP^3.H^2; DAP^4.H^2; MEB); em que PST (peso seco total da árvore) é dado em kg, DAP (diâmetro a altura do peito) em cm, H (altura total da árvore) em m e MEB (massa específica básica da madeira) dado em $Kg.m^{-3}$.

Observa-se que as equações ajustadas sem estratificação apresentam R^2_{aj} entre 0,726 à 0,972 e S_{xy}% variando de 33,5 a 119,6 (Tabela 4.3). O modelo ajustado considerado adequado para estimar a biomassa das árvores sem estratificação foi obtido através do procedimento de *Stepwise* (9) (Tabela 4.4), sendo representado pela seguinte equação: $PST = \beta_0 + \beta_1.(DAP^3) + \beta_2.(H) + \beta_3.(DAP^3.H)$, o qual apresentou menor S_{xy}% (33,5) e maior R^2_{aj} (0,972), cujos coeficientes da equação foram significativos a 95% de probabilidade de confiança pelo teste *t*. Já os modelos de Meyer (4), Naslund modificado (6) e Hohenald-Gehrhardt (8) apresentaram parâmetros de R^2_{aj}, de 0,968, 0,969, 0,960, e S_{xy}%, 41,0, 39,9, 40,5, respectivamente, sendo resultados aceitáveis por se tratar de florestas inequiânea. Isto se deve, a fraca correlação alométrica que existe entre a biomassa aérea com as variáveis diâmetro e altura, este fato ocorre principalmente quando as florestas naturais apresentam distribuição diamétrica exponencial negativa (ARAÚJO et al,. 2012).

Tabela 4.4 – Parâmetros e estatísticas dos modelos testados e ajustados para estimativa de biomassa arbórea acima do solo em Floresta Estacional Decidual.

Nº	Parâmetros								
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	F_{cal}	R^2_{aj}	S_{xy}%
1	-501,056*	44,730*	-	-	-	-	228,8	0,726	119,6
2	-78,895*	0,776*	-	-	-	-	1416,0	0,943	54,7
3	9,697ns	0,033*	-	-	-	-	1749,6	0,953	49,4
4	-196,649*	-6,764ns	0,954*	-1,872*	0,017ns	41,967*	517,2	0,968	41,0
5	83,764ns	-10,718ns	0,647ns	-0,009ns	0,015ns	-	507,3	0,959	46,1
6	-74,934*	0,107ns	0,056*	-0,103*	1,793*	-	685,5	0,969	39,9
7	48,751ns	-6,204ns	0,215ns	0,025*	-	-	595,8	0,954	49,0
8	126,964*	-18,780*	1,043*	-	-	-	1031,6	0,960	40,5
9	-112,131*	0,016*	16,716*	-0,00023*	-	-	1014,8	0,972	33,5
10	-2,006*	2,414*	-	-	-	-	1030,7	0,923	47,2*
11	-2,900*	0,760*	0,056ns	1,383ns	-0,075ns	-	336,1	0,934	51,3*
12	-2,810*	0,200*	-	-	-	-	1387,0	0,942	46,2*
13	-2,864*	1,830*	1,013*	-	-	-	686,6	0,941	48,7*
14	-7,872*	0,647*	0,826*	-0,298ns	-	-	608,7	0,955	54,0*

F_{cal} = valor calculado do teste F; R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado; S_{xy}% = Erro padrão da estimativa em percentagem. * Erro padrão da estimativa já multiplicado pelo Fator e Correção de Meyer. ns não apresentou diferença estatística no teste F a nível de 5% de probabilidade de erro.

Burger e Delitti (2008), para modelos desenvolvidos pela análise de regressão simples para fragmento de Mata Atlântica, encontraram R^2_{aj} de 0,94 e erro padrão da estimativa de 0,56 Kg, para o modelo logarítmico lnPST = -3,676+0,951*ln (DAP^2H), mas o S_{xy} não foi corrigido pelo Fator de Meyer. Lima et al. (2012), indicam o modelo $PST = 0,488*DAP^{2,083}$, o qual possui S_{xy}% 5,63 e o R^2_{aj} de 0,934, porém utiliza apenas o DAP como variável independente. Miranda; Melo; Sanquetta (2011) encontraram coeficientes de R^2_{aj} de 0,918 e S_{xy}% 42,39%, em área reflorestas (44 espécies) com idades variáveis de 5 a 36 anos. Considerando os resultados do trabalhos acima citados e a variação dos dados coletados os parâmetros obtidos podem ser considerados satisfatórios.

As variáveis independentes, para as quatro equações, utilizam DAP e H, sendo que o DAP apresenta maior importância que a H, porém a H faz os ajustes finais dos modelos. Assim, estes modelos geralmente são melhores dos que utilizam apenas a variável DAP. Porém a mensuração da H com precisão e acuracidade em florestas nativas é difícil pela sobreposição das copas (CHAVE et al., 2005; BURGER; DELITTI, 2010; LIMA et al., 2012).

Por meio da análise de distribuição dos resíduos, verificou-se que todos os modelos apresentam tendência semelhante, com maior erro nos indivíduos com diâmetros maiores, isto para o conjunto de dados não estratificado (Figura 4.1).

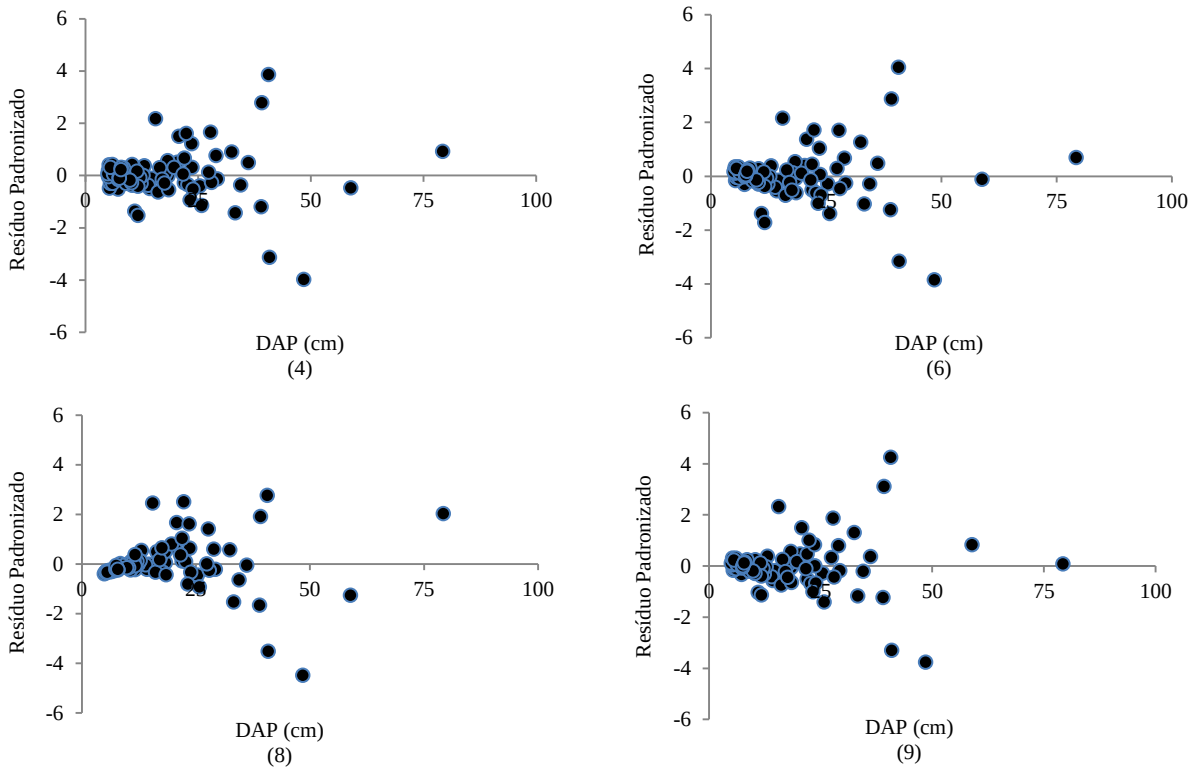

Figura 4.1 – Distribuição dos resíduos das estimativas de biomassa em função do diâmetro a altura do peito (DAP).

Após a estratificação dos dados em duas classes de diâmetro a divisão ficou assim definida, classe 1 árvores entre 5-15 cm de DAP (47) e classe 2 indivíduos com DAP maiores que 15 cm (40). Os ajustes das equações alométricas estratificadas nas classes de diâmetro geraram melhores resultados para a classe 2 (Tabela 4.5). Porém para a classe 1 as estimativas tiveram precisão inferior ao ajuste geral, uma vez que há grande variação da altura em relação a biomassa florestal (Tabela 4.6). Com essa grande variação das alturas em uma classe de diâmetro, a relação alométrica não é muito forte, resultando em coeficientes de determinação baixos e erros padrões alto (MACHADO et al., 1994; CURTO et al., 2014). No entanto, para cada classe de diâmetro, foi obtida uma equação, para fins de comparação com a forma não estratificada.

Tabela 4.5 – Parâmetros e estatísticas dos modelos testados e ajustados para estimativa de biomassa em Floresta Estacional Decidual.

Classe de diâmetro	Nº	Parâmetros								
		β_o	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	F_{cal}	R^2_{aj}	S_{xy}%
5-15 cm	1	-34,846*	7,423*	-	-	-	-	62,5	0,572	54,3
	2	-3,200^{ns}	0,396*	-	-	-	-	64,6	0,580	53,7
	3	3,532^{ns}	0,035*	-	-	-	-	100,4	0,684	46,7
	4	93,949^{ns}	-23,795^{ns}	1,408^{ns}	2,859^{ns}	-0,131^{ns}	-11,045^{ns}	18,7	0,659	48,4
	5	-6,100^{ns}	2,070^{ns}	-0,081^{ns}	0,002^{ns}	0,030^{ns}	-	23,5	0,662	48,2
	6	-2,308^{ns}	0,119^{ns}	0,022^{ns}	-0,004^{ns}	0,114^{ns}	-	23,6	0,662	48,2
	7	-8,010^{ns}	1,596^{ns}	0,093^{ns}	0,022^{ns}	-	-	32,2	0,671	47,6
	8	-6,0731^{ns}	0,663^{ns}	0,361^{ns}	-	-	-	31,6	0,571	54,3
	9	-48,163*	0,053*	0,075*	-0,000009^{ns}	-	-	55,9	0,782	38,7
	10	-1,490*	2,154*	-	-	-	-	110,3	0,704	53,9*
	11	0,145^{ns}	-0,162^{ns}	0,444^{ns}	0,508^{ns}	0,121^{ns}	-	37,5	0,761	48,9*
	12	-2,298*	0,852*	-	-	-	-	156,0	0,771	46,6*
	13	-2,414*	1,546*	1,071*	-	-	-	77,6	0,769	48,4*
	14	-1,707^{ns}	-0,051^{ns}	0,485*	-	-	-	69,0	0,747	48,5*
	1	-1191,98*	64,263*	-	-	-	-	163,3	0,806	55,0
	2	-160,733*	0,813*	-	-	-	-	588,0	0,938	37,3
	3	17,240^{ns}	0,032*	-	-	-	-	641,2	0,942	35,8
	4	-246,08^{ns}	-18,187^{ns}	1,336^{ns}	-2,404^{ns}	0,0,11^{ns}	66,471^{ns}	215,9	0,965	27,9
	5	1054,19*	-98,860*	3,216*	0,067^{ns}	-0,073^{ns}	-	247,5	0,962	29,1
	6	-137,231^{ns}	0,092^{ns}	0,064*	-0,137*	2,677*	-	278,3	0,966	27,5
	7	203,223^{ns}	-14,019^{ns}	0,050^{ns}	0,032*	-	-	217,5	0,943	35,6
	8	577,956*	-42,864*	1,301*	-	-	-	467,1	0,960	29,9
	9	-69,194^{ns}	0,010*	16,760*	-	-	-	588,8	0,968	26,8
	10	-1,233^{ns}	2,194*	-	-	-	-	137,6	0,778	36,0*
	11	1,037^{ns}	-0,560^{ns}	0,413^{ns}	2,101^{ns}	-0,218^{ns}	-	47,9	0,828	31,1*
	12	-2,124*	0,869*	-	-	-	-	198,5	0,835	47,2*
	13	-2,151*	1,698*	0,927*	-	-	-	96,8	0,831	50,6*
	14	0,297^{ns}	0,440*	-0,393^{ns}	-	-	-	107,1	0,845	41,3*

F_{cal} = valor calculado do teste F; R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado; S_{xy}% = Erro padrão da estimativa em percentagem. * Erro padrão da estimativa já multiplicado pelo Fator e Correção de Meyer. ^{ns} não apresentou diferença estatística no teste F a nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 4.6 – Estatísticas descritiva para as duas classes de diâmetro em Floresta Estacional Decidual (FED).

Estatística	Variável		
	H (m)	DAP (cm)	Biomassa (kg)
Classe 1 (5 a 15 cm de diâmetro a altura do peito)			
Mínimo	5,1	5,0	5,2
Média	8,4	9,6	33,1
Máximo	19,2	14,7	134,0
Desvio padrão	2,6	2,8	27,8
Erro padrão	0,4	0,4	4,0
Variância	6,9	8,2	773,3
Classe 2 (mais de 15 cm de diâmetro a altura do peito)			
Mínimo	6,0	15,6	50,7
Média	16,0	27,9	599,8
Máximo	27,4	79,3	5471,1
Desvio padrão	4,7	12,7	908,6
Erro padrão	0,7	2,0	143,7
Variância	22,6	162,2	825.643,7

Selecionadas as equações para cada forma, estratificada e não estratificada, foi possível a comparação das estimativas e dos modelos. As equações ajustadas para a classe de diâmetro entre 5 e 15 cm de DAP (Figura 4.2), apresentaram resultados inferiores. Quando comparados à classe de diâmetro acima de 15 cm de DAP (Figura 4.3) com a forma não estratificada, as estratificadas apresentam R^2_{aj} menores, mas os S_{xy}% são melhores, variando de 26,8 a 29,1%.

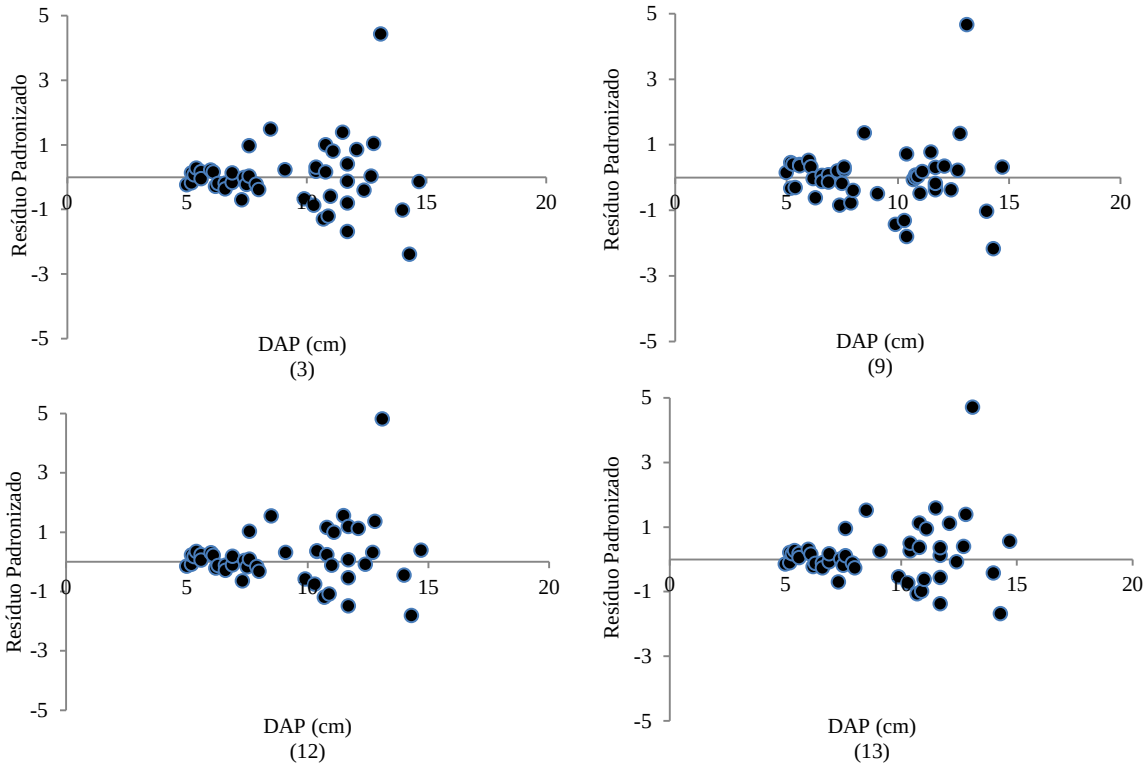

Figura 4.2 – Distribuição dos resíduos das estimativas de biomassa em função do diâmetro a altura do peito (DAP) para a classe de diâmetro de 5 a 15 centímetros.

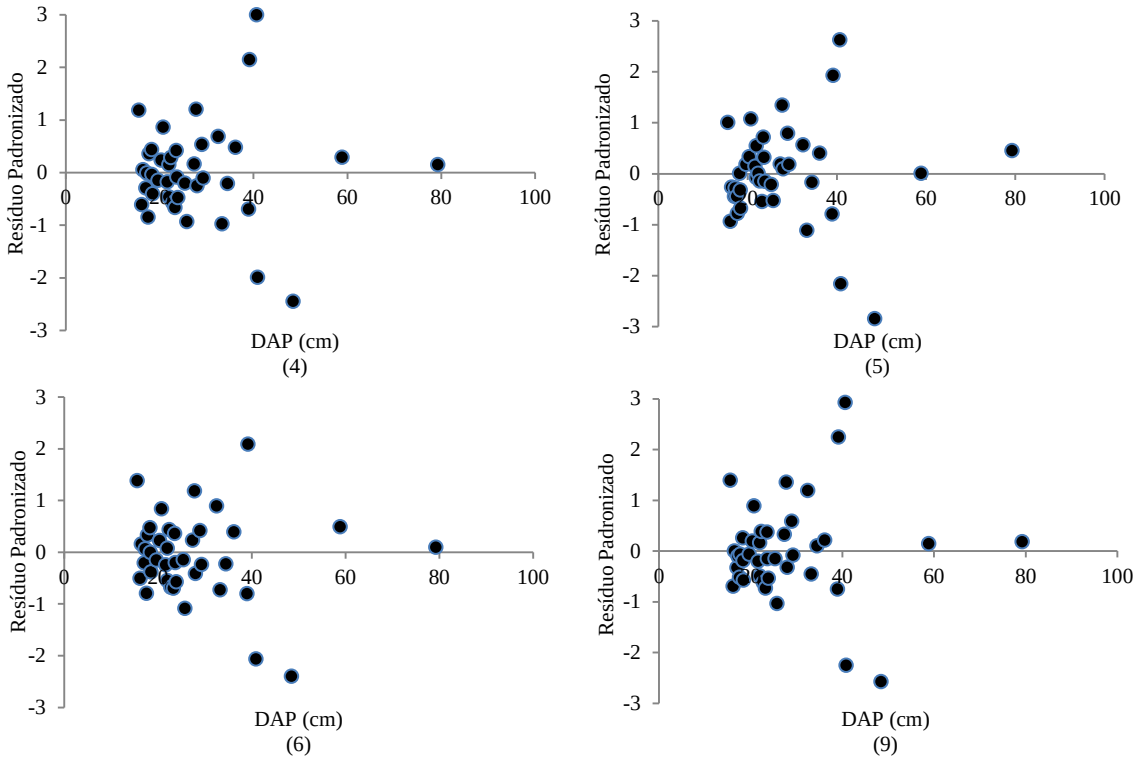

Figura 4.3 – Distribuição dos resíduos das estimativas de biomassa em função do diâmetro a altura do peito (DAP) para a classe de diâmetro acima de 15 centímetros.

O emprego de modelos ajustados sem estratificação resultou em melhores ajustes, seguidos pela estratificação por classe diamétrica. No entanto, torna-se importante mencionar que não ocorreram grandes diferenças entre o ajuste geral (sem estratificação) e a forma estratificada. Assim, a utilização dessa estratificação será decidida pelo pesquisador conforme os objetivos de sua pesquisa, já que estas podem influenciar no tempo de coleta e no processamento dos dados, assim como nos custos dos mesmos.

4.6 Conclusões

Os modelos tradicionais não apresentam bom ajuste quando comparado com o *Stepwise* e este gerou o modelo PST = $\beta_0 + \beta_1.(DAP^3) + \beta_2.(H) + \beta_3.(DAP^3.H)$, o qual apresentou menor $S_{xy}\%$ (33,5) e maior R^2_{aj} (0,972).

A não estratificação dos dados apresentou a melhor forma de ajuste dos modelos.

4.7 Referências

ABOAL, J. R., ARÉVALO, J. R., FERNÁNDEZ, Ä. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands). **Flora,** v.200, p.264–274, 2005.

ANGELSEN, A (Ed.). **Moving ahead with REDD: Issues, Options, and Implications**; CIFOR: Bogor, Indonesia, 2008, 172p.

ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 257-268, 2012.

AVITABILE, V.; HEROLD, M.; HERNRY, M.; SCHMULLIUS, C. Mapping biomass with remote sensing: a comparison of methods for the case study of Uganda. **Carbon Balance and Management**, Moscow, v. 6, n. 7, 2011.

BALBINOT, R. et al. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná. **Floresta,** v. 38, p. 317-324, 2008.

BASUKI, T. M., VAN LAAKE, P. E., SKIDMORE, A. K., HUSSIN, Y. A. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. **Forest Ecology and Management,** v. 257, p. 1684-1694, 2009.

BROWN, S., Estimating biomass and biomass change of tropical forests. (Forest Resources Assessment Publication. Forestry Papers 134). FAO, Rome, 1997.

BURGER, D. M; DELITTI, W. B. C. Modelos preditores da fitomassa em floresta da restinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 143-153, 2010.

BURGER, D. M.; DELITTI, W. B. C. Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil. **Biota Neotrop**., v. 8, n. 4, p. 131-136, 2008.

CHAVE, J., ANDALO, C., BROWN, S., CAIRNS, M. A., CHAMBERS, J. Q., EAMUS, D., FOLSTER, H., FROMARD, F., HIGUCHI, N., KIRA, T., LESCURE, J. P., NELSON, B. W.,

OGAWA, H., PUIG, H., RIÉRA, B., YAMAKURA, T., Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, p. 87-99, 2005.

CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; KIRCHNER, F. F.; ROSOT, N. C. Os projetos de redução de emissões do desmatamento e da degradação florestal (REDD). **Floresta,** Curitiba, v. 42, n. 1, p. 177-188, 2012.

COSTA, M. P.; PEREIRA, J. A. A.; BENICIO, M. H. M.; SOUZA, H.; FONTES, M. A. L.; GARCIA, P. O. Alometria e arquitetura de *Copaifera langsdorffii* (Desf.) Kuntze (Fabaceae) em fotofisionomias neotropicais no sul de Minas Gerais. **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 223-240, 2012.

CURTO, R. A.; LOUREIRO, G. H.; MÔRA, R.; MIRANDA, R.O.V.; NETTO, S. P.; SILVA, G. F. Relação hipsométrica em floresta estacional decidual. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 1, p. 57-66, 2014.

HALLÉ, F. Arquitectura de los árboles. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v.45, n.3-4, p.405-418. 2010.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2. ed. rev. e ampl., 2012, 271 p.

LIMA, A. J. N.; SUWA, R.; RIBEIRO,G. H. P. M.; KAJIMOTO, T.; SANTOS, J.; SILVA, R. P.; SOUZA, C. A. S.; BARROS, P. C. de; NOGUCHI, H.; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 277. p, 163-172. 2012.

LITTON, C. M., KAUFFMAN, J. B. Allometric models for predicting aboveground biomass in two widespread woody plants in Hawaii. **Biotropica**, v. 40, p. 313-320, 2008.

MACHADO, S. A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JUNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliotti* no Paraná. **Revista Cerne,** v. 1, n. 1, p. 5-12, 1994.

MIRANDA, D. L .C.; MELO, A. C. G.; SANQUETTA, C. R. Equações alométricas para estimativas de biomassa e carbono em árvores de reflorestamento de restauração. **Revista Árvore,** v. 35, n. 3, p. 679-689, 2011.

NÁVAR, J. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 427-434, 2009.

NOGUEIRA, E. M., NELSON, B. W., FEARNSIDE, P. M., FRANCA, M. B., OLIVEIRA, A. C. A. D., Tree height in Brazil's ''arc of deforestation'': shorter trees in South and Southwest Amazonia imply lower biomass. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 2963-2972, 2008.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, F. (Org.). **Os climas do Sul:** Em tempos de mudanças climáticas globais. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217-271.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, EMBRAPA, 353p, 2013.

SAS – STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM: **Programa de computador**, ambiente VM. Cary, 1993. Versão 6.08.

SVOB, S.; ARROYO-MORA, J. P.; KALACSKA, M. The development of a forestry geodatabase for natural forest management plans in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 327, p. 240-250, 2014.

TRAUTENMÜLLER, J. W.; BALBINOT, R.; GONZATTO, G. L.; WATZLAWICK, L. F.; VENDRUSCOLO, R. Relação hipsométrica em Floresta Estacional Decidual. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1633-1641, 2014a.

WANG, X., FANG, J., TANG, Z., ZHU, B., Climatic control of primary forest structure and DBH–height allometry in Northeast China. **Forest Ecology and Management**, v. 234, p. 264–274, 2006.

5 CAPÍTULO IV

ESTIMATIVA DA BIOMASSA DO FUSTE POR DIFERENTES MÉTODOS EM FLORESTA SUBTROPICAL

5.1 Resumo

O trabalho teve como objetivo estimar a biomassa do fuste em dois fragmentos de Floresta Estacional Decidual utilizando métodos diretos e indiretos. Os dados de biomassa foram obtidos de sete parcelas de 12 x 12 m, totalizando 64 árvores. A biomassa do fuste (PSF) foi determinada pelo método direto e por métodos indiretos que consistiram em: 1º) Volume Rigoroso (Vr) do fuste multiplicado pela Média Ponderada (M_{Pond}) e Média Aritimética (M_{Arit}) da massa específica básica da madeira das espécies encontradas, resultando em $PVrM_{Arit}$ e $PVrM_{Pond}$ e 2º) pelo Volume Estimado (Ve) multiplicado pela M_{Pond} e pela M_{Arit}, resultando em $PVeM_{Arit}$ e $PVrM_{Pond}$. O PSF das sete parcelas determinado diretamente foi de 11.450 Kg. O método indireto que mais se aproximou do PSF foi o $PVeM_{Arit}$, 13.141 Kg e o que apresentou a maior diferença foi o $PVrM_{Pond}$ que totalizou 20.060 Kg. O teste de Dunnett indicou diferença significativa do PSF para os métodos indiretos que utilizam o Vr, já os métodos que utilizaram o Ve não diferiram estatisticamente. O método direto consiste na melhor forma de estimar a biomassa do fuste.

Palavras-chaves: biomassa florestal; biomassa arbórea; floresta estacional decidual.

STEM BIOMASS ESTIMATION IN SUBTROPICAL FOREST WITH DIFFERENT METHODS

5.2 Abstract

This study to estimate the biomass bole in two fragments Deciduous Forest using direct and indirect methods. The biomass data were obtained from seven plots of 12 x 12 m, totaling 64 trees. The stem biomass (PSF) was determined by the direct method and indirect methods which consisted of: 1º) Rigorous Volume (Vr) of the bole multiplied by the Weighted Average (M_{Pond}) and Arithmetic Average (M_{arit}) basic density of wood species found, resulting in $PVrM_{Arit}$ and $PVrM_{Pond}$, and, 2º) the estimated volume (Ve) and multiplied by the M_{Pond} and M_{arit}, resulting in $PVeM_{Arit}$ and $PVrM_{Pond}$ likewise. The PSF of the seven installments directly determined was 11,450 kg. The indirect method that is closer to the PSF was $PVeM_{Arit}$, 13,141 kg and showed that the biggest difference was the $PVrM_{Pond}$ totaling 20,060 Kg. The Dunnett's test indicated a significant difference in the PSF for the indirect methods using Vr, since the methods used Ve did not differ statistically. The direct method is the best way to estimate the biomass of the stem.

Key words: forest biomass; tree biomass; Deciduous Forest.

5.3 Introdução

De acordo com Tans e Keeling (2014) as mudanças climáticas são fortemente influenciadas pela emissão de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO_2). Há estimativas de que o desmatamento e a degradação das florestas nativas contribuam com aproximadamente 20% do total das emissões de CO_2 (ANGELSEN et al., 2008). Contudo, considerando a diversidade dos ecossistemas florestais, a quantificação dos estoques de carbono e o potencial de emissão representam um dos maiores desafios perante um cenário de mudanças ambientais.

No ano de 2005 iniciaram as discussões sobre projetos de Redução de Emissões do Desmatamento (RED). Esses projetos estão no topo da agenda de negociação internacional e evoluiram para Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD), representando uma forma fácil, barata e rápida para reduzir as emissões de GEE (ANGELSEN, 2009).

Projetos de REDD estão fundamentados na concessão de incentivos financeiros para preservar as florestas e manter os estoques de carbono nos ecossistemas florestais (TURNER et al., 2009). Apesar da demanda de projetos e da necessidade de se quantificar a biomassa acima do solo com acurácia, ainda não existe consenso entre as metodologias (método direto e indireto) utilizadas para estimar a biomassa em florestas nativas (GATTO, 2011).

Na abordagem do método direto (destrutivo) as árvores são derrubadas e seus componentes são separados e pesados. Este método demanda tempo em campo e é de alto custo, porém fornece informações exatas da biomassa (SANQUETTA; BALBINOT, 2004; LI; XIAO, 2007). Por outro lado Brown; Gillespie; Lugo. (1989) afirmam que as estimativas geradas a partir de métodos diretos não são confiáveis porque são baseadas em poucas parcelas, pequenas e tendenciosamente escolhidas. Fearnside (1991) contestou estas críticas e observou que os métodos baseados em inventários florestais (indiretos) podem ser menos tendenciosos, porém suas estimativas ficam aquém de todos os valores já obtidos por meio dos métodos diretos.

O método indireto (não destrutivo) produz estimativas por meio de equações alométricas ou fatores de expansão de biomassa, que são gerados a partir dos dados obtidos via método direto. As estimativas não destrutivas utilizam variáveis de inventário florestal como diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume e massa específica básica da madeira (MEB), sem a necessidade de abater as árvores (SANQUETTA e BALBINOT, 2004; HIGUCHI et al., 2004; GATTO, 2011), que são combinados com modelos de regressão (BROWN, 2002; BREUGEL et al., 2011). Nestes casos, a estimativa da biomassa é muito mais rápida e barata, mas sua exatidão tende a ser inferior (FEARNSIDE et al., 1993; SEGURA e KANNINEN, 2005).

Para as estimativas com base no volume é imprescindível o conhecimento do fator de forma médio das árvores, o qual apresenta variações em função da espécie, DAP, idade e sítio (HIGUCHI et al., 2004). Com isso, após o diâmetro e altura, o fator de forma constitui a terceira variável em ordem de importância, na determinação do volume (PRODAN et al., 1997). Além disto, a variável MEB deve ser incluída (FEARNSIDE, 1997).

Em suma, os métodos para cálculo de biomassa em floresta nativa ainda geram polêmica e produzem estimativas desencontradas, mesmo quando se usa o mesmo banco de dados (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989; FEARNSIDE et al., 1993). Nesse contexto, o trabalho tem por objetivo calcular a biomassa do fuste das árvores em dois fragmentos de Floresta Estacional Decidual utilizando diferentes métodos na expectativa de elucidar alguns aspectos desta polêmica.

5.4 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em dois fragmentos de Floresta Estacional Decidual (FED) (IBGE, 2012) localizados nos municípios de Frederico Westphalen (27º23’44” Sul e 53º25’59” Oeste, e a uma altitude de 520 a 550 m.s.n.m.), área 1, e Iraí (27º13’35” Sul e 53º18’59” Oeste, e a 240 m.s.n.m.) na confluência do Rio Uruguai com o Rio da Várzea, área 2. Toda a coleta e processamento dos dados foram efetuados durante os meses de janeiro a março de 2011 (Frederico Westphalen) e de maio a julho de 2012 (Iraí).

O clima da região é Subtropical muito úmido, com regime de chuvas equilibrado, porém, à redução da precipitação na estação do inverno, média anual entre 1.700 e 1.900 mm e temperatura média entre 20 e 23º C (ROSSATO, 2014). Os solos de Frederico Westphalen e Iraí são classificados como latossolo vermelho aluminoférrico e neossolo regolítico eutrófico, respectivamente (SANTOS et al., 2013).

Para a coleta dos dados foram instaladas sete unidades amostrais de 144 m², totalizando 1008 m², distribuídas aleatoriamente. Foram amostradas as árvores com Diâmetro à Altura do peito (DAP) maior que dez centímetros, desconsiderando as árvores mortas e as vivas que apresentavam a copa totalmente quebradas. Devido às dificuldades em se estabelecer um parâmetro que indique o ponto em que o fuste passa a ser considerado como galho, nesse trabalho o Ponto de Inversão Morfológica (HPIM) (HALLÉ, 2010) foi considerado como limite da altura do fuste.

Em campo, foi realizada a cubagem rigorosa pelo método de Smalian, medindo os diâmetros no DAP e a 0, 25, 50, 75, 100%, do HPIM, e o comprimento de cada secção. O volume total do fuste foi calculado pela equação $v = g \times h \times f$ (eq. 01), em que v =

volume (m^3); g = área basal (a 1,3 m); h = altura do HPIM (m); f = fator de forma (f = 0,759).

O fator de forma utilizado no cálculo foi à média aritmética dos valores encontrados em outros trabalhos realizados em florestas naturais, conforme Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Fatores de forma para altura comercial em diferentes tipos florestais e espécies nativas.

Autor	Fator de forma citado	Tipo florestal e/ou espécie
SOUZA; JESUS (1991)	0,656	Quatro espécies da Mata Atlântica, Linhares, ES (*Cordia trichotoma, Cariniana legalis, Bowdichia virgiliodis* e *Joannesia princeps*).
SCOLFORO; MELLO (2006)	0,825	Floresta Estacional Semidecídua.
COLPINI et al. (2009)	0,742	Floresta Ombrófila Aberta, noroeste MT.
SCOLFORO et al. (1994)	0,827	Floresta Semidecídua, Lavras MG.
Média	0,759	

Os valores da MEB da madeira para algumas espécie foram obtidos na literatura (REITZ et al., 1988; MARCHIORI, 1997a; MARCHIORI, 1997b; MARCHIORI, 2000; LORENZI, 2002a; LORENZI,2002b; MARCHIORI, 2007; RIBEIRO et al, 2009; PAULA; COSTA, 2011; PAULA; ALVES, 1997; TRAUTENMÜLLER et al., 2014) outras sendo determinadas. Para a quantificação da MEB sendo retirados discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura na altura do DAP, onde foram marcadas e seccionadas duas cunhas simetricamente opostas, contendo partes de cerne e alburno. As cunhas de madeira foram submersas em água, onde permaneceram até atingirem peso constante. A MEB de cada cunha foi determinada pela equação $\rho b = Mo/Vu$, em que ρb (massa específica básica da madeira) é dado em $g.cm^{-3}$, Mo (massa seca em estufa 103°C) em g e Vu (volume saturado) em cm^3, o volume verde foi obtido pelo método da balança hidrostática (VITAL, 1984).

Foram calculadas as médias aritmética e ponderada (pelo volume de cada árvore) da MEB. A biomassa do fuste foi estimada dos seguintes modos: 1) Volume Real (Vr) x Média Aritmética (M_{Arit}) da MEB; 2) Volume Real (Vr) x Média Ponderada (M_{Pond}) da MEB; 3) Volume Estimado (Ve) x Média Aritmética (M_{Arit}); 4) Volume Estimado (Ve) x Média Ponderada (M_{Pond}). Estes valores foram comparados com o biomassa do Fuste (PSF) determinado a campo e tido como base de comparação para os métodos indiretos.

Para a análise da biomassa utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, constituído de cinco tratamentos e três repetições, onde cada parcela foi considerada como um bloco. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*, teste

de *Bartlett* e ao teste de *Dunnett*, utilizando o pacote "*Statistical Analysis System*" (SAS, 1993).

5.5 Resultados

Foram amostradas 64 árvores cujos valores médios da MEB calculados foram de 0,644 g.cm^{-3} para M_{Arit} e 0,682 g.cm^{-3} para $M_{Pond.}$, variando do mínimo de 0,303 g.cm^{-3} (*Erythrina falcata*) e máximo de 0,905 g.cm^{-3} (*Eugenia rostrifolia*) (Tabela 5.2). O valor da M_{Pond} foi maior que a M_{Arit} devido a formulação da M_{Arit} considerando o número de espécies. No caso da M_{Pond}, o volume de cada indivíduo assume maior importância. Assim, as árvores de grande porte e com alta MEB são as que tem mais influência sobre a M_{Pond}.

Tabela 5.2 – Massa Específica Básica (MEB) da madeira (g.cm^{-3}) das espécies avaliadas.

Espécie	Massa Específica Básica (g,cm^{-3})							Média
Trichilia clausseni C.DC.		0,450[2]	0,450[3]					0,450
Trichilia catiguá A. Juss				0,700[4]	0,640[5]			0,670
Eugenia rostrifolia D. Legrand	0,875[1]	0,935[2]						0,905
Sorocea bonplandii (Baill.) W.C. Burger		0,550[2]	0,670[3]	0,769[4]	0,670[5]			0,665
Chrysophyllum gonocarpum (Mart. & Eichler) Engl.			0,700[3]					0,700
Chrysophyllum marginatum (Hook. & Arn.) Radlk.			0,780[3]					0,780
Nectandra megapotamica (Spreng.) Mez.		0,650[2]	0,650[3]	0,706[4]				0,669
Cedrela fissilis Vell.	0,550[1]		0,550[3]					0,550
Campomanesia xanthocarpa O. Berg.			0,650[3]	0,891[4]				0,770
Machaerium stipitatum (DC.) Vogel		0,690[2]	0,840[3]					0,765
Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman			0,650[3]					0,650
Erythrina falcata Benth.	0,200[1]	0,390[2]	0,320[3]					0,303
Apuleia leiocarpa (Vogel) J. F. Macbr.	0,875[1]	0,860[2]	0,830[3]	0,989[4]				0,888
Parapiptadenia rígida (Benth.) Brenan	0,875[1]	0,920[2]	0,850[3]					0,882
Guarea macrophylla Vahl.					0,520[5]			0,520
Cordia ecalyculata Vell.			0,650[3]	0,888[4]				0,769
Tetrorchidium rubrivenium Poepp. & Endl.	0,500[1]							0,500
Alchornea sidifolia Müll. Arg.		0,450[2]						0,450
Myrocarpus frondosus Allemão	0,900[1]	0,880[2]	0,910[3]					0,897
Picrasma crenata (Vell.) Engl.								
Casearia sylvestris Sw.			0,840[3]					0,840
Tabebuia cassinioides Lam.			0,390[3]	0,440[4]				0,415
Cordia americana (L.) Gottshling & J.E. Mill						0,629[6]		0,629
Alchornea triplinervia (S.) Müller Argoviensis						0,335[6]		0,335
Balfourodendron riedelianum (Engl.) Engl.							0,697[7]	0,697
Calyptranthes tricona D.Legrand							0,736[7]	0,736
Ficus guaranitica Chodat & Vischer							0,330[7]	0,330
Holocalyx balansae Micheli							0,743[7]	0,743
Inga marginata Willd.							0,550[7]	0,550
Leandra sp.							0,550[7]	0,550
Pilocarpus pennatifolius Lem.							0,746[7]	0,746
Maclura tinctoria (L.) D. Don. ex Steud						0,759[8]		0,759
Média aritmética								**0,649**
Média ponderada								**0,682**

Fonte: [1] REITZ et al. (1988); [2] MARCHIORI (1997a), MARCHIORI (1997b), MARCHIORI (2000), MARCHIORI (2007); [3] LORENZI (2002a), LORENZI (2002b); [4] PAULA e COSTA (2011); [5] RIBEIRO (2009); [6] TRAUTENMÜLLER et al. (2014); [7] Dados do próprio autor; [8] PAULA e ALVES (1997). Para a *Picrasma crenata* não foi encontrada na literatura massa específica básica, com isso usou-se a média calculada a partir das outras espécies.

O teste de *Shapiro-Wilk* demonstrou normalidade das amostras (W = 0,950), o teste de *Bartlett* aceitou a hipótese de homogeneidade de variância entre as médias observadas de biomassa. Com a análise da variância observou-se diferenças significativas entre os métodos de estimativa do volume (Tabela 5.3). O teste de *Dunnett* mostrou que não há diferença estatística entre o Peso pelo Volume Estimado e a Massa Específica Média Aritmética ($PVeM_{Arit}$) e o Peso pelo Volume Estimado e a Massa Específica Média Ponderada ($PVeM_{Pond}$) quando comparados com o PSF. Porém, o Peso pelo Volume Rigoroso e a Massa Específica Média Aritmética ($PVrM_{Arit}$) e o Peso pelo Volume Rigoroso e a Massa Específica Média Ponderada ($PVrM_{Pond}$) apresentam diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 5.3 – Análise de variância da biomassa para os tratamentos.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor de F calculado	Nível de probabilidade de erro
Tratamento	4	8809707,38	2202426,85	12,96	0,0001*
Bloco	6	48945234,28	8157539,05	48,02	0,0001*
Erro	24	4077186,25	169882,76		
Total	34	61832127,91			

Significativo em nível de 5%.

Os volumes calculados foram 29,38 m³ para Vr e 20,42 m^3 para Ve (eq. 01). O peso calculado até o HPIM foi de 20,06 e 18,91 Mg para $PVrM_{Pond}$ e $PVrM_{Arit}$, e de 13,94 e 13,14 Mg para $PVeM_{Pond}$ e $PVeM_{Arit}$, respectivamente. O PSF determinado a campo foi de 11,45 Mg. Os valores referentes ao somatório das sete parcelas está apresentado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resultados de peso do fuste de cada parcela e análise estatística por Dunnett.

UA	Volume			Tratamento				CV (%)	R^2
	Rigoroso	Eq. 01	PSF	$PVeM_{Arit}$	$PVeM_{Pond}$	$PVrM_{Arit}$	$PVrM_{Pond}$		
1	8,19	5,81	2860,46	3742,64	3969,50	5273,18	5592,82		
2	5,24	3,32	2704,33	2134,53	2263,92	3375,15	3579,73		
3	5,14	3,35	2212,79	2157,85	2288,65	3308,89	3509,46		
4	1,43	1,19	378,21	764,35	810,68	918,56	974,24		
5	1,54	1,11	711,14	717,38	760,87	989,36	1049,34		
6	3,70	3,15	1466,64	2030,86	2056,42	2381,11	2420,81		
7	6,34	4,52	2032,09	2908,91	3085,23	4078,71	4325,95		
Somatório	31,57	22,46	11450,90	13141,46	13938,04	18914,24	20060,73		
Média* (UA)	4,51	3,21	1635,8a*	1877,4a	1991,1a	2702,0b	2865,8b	17,21	0,93

Unidade Amostral (UA); volume rigoroso e massa específica básica média ponderada ($PVrM_{Pond}$); volume rigoroso e massa específica básica média aritmética ($PVrM_{Arit}$); volume pela equação e massa específica média ponderada ($PVeM_{Pond}$); volume da equação e massa específica básica média aritmética ($PVeM_{Arit}$); peso seco real (PSF); Coeficiente de variação (CV); Coeficiente de determinação linear (R^2). *Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si em nível de 5% de significância.

5.6 Discussão

Os valores de MEB calculados para as espécies de Floresta Estacional Decidual, tanto para M_{Arit} (0,649 g.cm^{-3}) quanto para M_{Pond} (0,682 g.cm^{-3}), estão próximos aos valores encontrados por outros autores para florestas tropicais e subtropicais (Tabela 5.4). Porém, há grande variação entre os valores de MEB. Por exemplo, Muller-Landau (2004) estudando 90 espécies em florestas tropicais encontrou valores de 0,12 a 1,05 g.cm^{-3} para diferentes locais num mesmo tipo florestal. Estes resultados (Tabela 5.5) apontam que estimativas que utilizem a MEB como uma de suas variávies podem acarretar em erros nos cálculos de biomassa e carbono acima do solo.

Tabela 5.5 – Média aritmética (M_{Arit}) e ponderada (M_{Pond}) da massa específica da madeira em diferentes ecossistemas florestais (g.cm^{-3}).

Fonte	Tipo florestal	M_{Arit} (g.cm^{-3})	M_{Pond} (g.cm^{-3})
Brown (1997)	Toda América.	0,60	
Ribeiro et al. (2010)	Floresta Estacional Semidecidual Montana no Município de Viçosa-MG.		0,65
Segura e Kanninen (2005)	Floresta tropical úmida de Costa Rica.	0,65	
Fearnside (1997)	Floresta Amazônica.	0,65	0,69
Ribeiro et al. (2009a)	Floresta Estacional Semidecídua Montana.		0,70
Muller-Landau (2004)	Quatro lugares diferentes, Estação Biológica La Selva na Costa Rica, Bairro Colorado Island no Panamá, Estação Biológica Cocha Cashu no Peru e em Manaus, Brasil.	0,47-0,72	
Henry et al. (2010)	Floresta tropical na Reserva Florestal Boi Tano, na região oeste de Gana.	0,59	
Alvarez et al. (2012)	Floresta tropical na Colombia.	0,58	
	Floresta tropical alagada.	0,60	
Henry et al. (2010)	Floresta tropical úmida.	0,53	
	Floresta tropical seca.	0,53	

As variações da MEB encontradas nas espécies florestais ocorrem pelas diferenças na estrutura anatômica da madeira e em menor proporção, à quantidade de substâncias extrativas presentes em cada indivíduo. Essas alterações decorrem em razão, principalmente, da idade da árvore, genótipo, qualidade do sítio, clima, localização geográfica (TREVISAN et al., 2012b), e em função da taxa de crescimento (REZENDE et al., 1998). Além disso, irregularidades no fuste, como ocorrência de ocos e apodrecimento associados com a diferença de idade entre os indivíduos (MULLER-LANDAU, 2004) e árvores em senescência, ocasionam variação tanto da MEB como do volume real do fuste.

Quanto ao volume dos fustes, é possível dizer que o Ve (eq 01) subestima o volume da madeira do fuste. Esta diferença pode ser explicada em parte pela variação na forma dos

fustes das árvores de acordo com a espécie, sítio, idade, aspectos genéticos, sanidade, etc. Segundo Machado e Figueiredo Filho (2003) os estudos sobre a forma dos fustes foram direcionados àquelas árvores que poderiam ser consideradas como regulares, ou seja, que pudessem ser comparados com figuras geométricas definidas. Porém, atualmente os estudos que buscam conhecer o estoque de biomassa de uma floresta necessitam estimar todos os fustes, independentemente da espécie, sítio, sanidade, genética, idade, etc. A partir disso, se estabelece uma nova necessidade de pesquisas sobre técnicas para avaliar a biomassa.

Os resultados obtidos confirmam as considerações de Fearnside (1991), sobre os métodos diretos, em que os métodos indiretos superestimam o peso real do fuste. Fica claro o desencontro das estimativas de biomassa que podem gerar superestimativas da ordem 75,2% no caso do $PVrM_{Pond.}$

O PSF considera toda variação da MEB no sentido radial, tangencial e longitudinal e se há, ou não, fustes ocos ou em fase inicial de apodrecimento. Já os métodos indiretos não consideram essa variação, por considerar apenas o volume e a MEB.

Os métodos que utilizam a M_{Pond} da MEB tendem a aumentar esse erro quando comparado com a utilização da M_{Arit}, pois a M_{Pond} atribui maior importância para fustes de maior volume. Os fustes de maior volume são pertencentes à árvores de maiores idades que, consequentemente, tem maior chance de apresentar ocos e apodrecimentos.

Deste modo, tanto para métodos diretos quanto indiretos, as árvores de grandes diâmetros devem ser analisadas com extremo cuidado, pois poucos indivíduos podem representar grande parte (neste caso mais de 50%) da biomassa de um ecossistema florestal.

5.7 Conclusões

O método direto consiste na melhor forma de quantificar a biomassa de fustes pois assimila todas as variações encontradas, tais como, fustes ocos e ou inicio de apodrecimentos.

Os métodos indiretos que utilizaram o Ve ($PVeM_{Pond}$ = 13.938 kg; $PVeM_{Arit}$ = 13.141 kg) não diferiram estatisticamente do PSF (11.451 kg), e os métodos indiretos que empregaram o Vr ($PVrM_{Pond}$ = 20.061 kg; $PVrM_{Arit}$ = 18.914 kg) apresentaram diferença significativa em relação ao PSF.

5.8 Referências

ALVAREZ, E.; DUQUE, A.; SALDARRIAGA, J.; CABRERA, K.; SALAS, G. de las,; VALLE, I.; LEMA, A.; MORENO, F.; ORREGO, S.; RODRÍGEZ, L. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. **Forest Ecology and Management.** Amsterdam, v. 267, p. 297-308, 2012.

ANGELSEN, A. (ed,). **Moving ahead with REDD: Issues, Options, and Implications**; CIFOR: Bogor, Indonesia, 2008, 172p.

ANGELSEN, A. (ed,). **Realising REDD+: national strategy and policy options.** CIFOR, Bogor, Indonesia, 2009, 362p.

BREUGEL, M. van; RANSIJIN, J.; CRAVEN, D.; BONGERS, F.; HALL, J. S. Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 262, p. 1648-1657, 2011.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, Lawrence, v. 35, p. 881-902, 1989.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests**: a primer. Rome: FAO, p. 55, 1997.

BROWN, S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 363-372, 2002.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 97-104, 2009.

FEARNSIDE, P. M.; Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. In: LEVINE, J. S. (Ed.). **Global Biomass Burning**: Atmospheric Climatic and Biospheric Implications, Boston: MIT, p. 92-105, 1991.

FEARNSIDE, P. M.; LEAL FILHO, N.; FERNANDES, F. M. Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 98, n. D9, p. 16733-16743, 1993.

FEARNSIDE, P. M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 90, n. 1-3, p. 59-87, 1997.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na Região centro-leste do estado de minas gerais, Minas gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 895-905, 2011.

HALLÉ, F. Arquitectura de los árboles. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 45, n. 3-4, p. 405-418. 2010.

HENRY, M.; BESNARD, A.; ASANTE, W. A.; ESHUN, J.; ADU-BREDU, S.; VALENTINI, R.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRÉ, L. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 260, p. 1375-1388, 2010.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P. da; ROCHA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Revista Floresta**, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2. ed. rev. e ampl, 2012, 271 p.

LI, C. P..; XIAO, C. W. Above- and belowground biomass of Artemisia ordosica communities in three contrasting habitats of the Mu Us desert, northern China. **Journal of Arid Environments**, v. 70, n. 2, p. 195-207, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 4ª, Ed, Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 2002a, v.1, 368 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2ª, Ed, Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 2002b, v.2, 384 p.

MACHADO, S. A.; FIGUEREIDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: UFPR, 2003. 309p.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das angiospermas: myrtales.** Santa Maria, Ed, da UFSM, 1997a, 304p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas: das magnoliáceas as flacurtiáceas**. Santa Maria, Ed, da UFSM, 1997b, 271p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas: das bixáceas as rosáseas**. Santa Maria, Editora UFSM, 2000, 240p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas: leguminosas.** Santa Maria, Ed, da UFSM, 2007, 199p.

MULLER-LANDAU, H. C. Interspecific and Inter-site Variation in Wood Specific Gravity of Tropical Trees. **Biotropica,** v.36, n.1, p.20-32, 2004.

PAULA, J. E.; ALVES J. L. H. **Madeiras nativas – Anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso**. Brasília, Fundação Mokiti Okada – MOA, 1997.

PAULA, J. E. de,; COSTA, K. P. **Densidade da madeira de 932 espécies nativas do brasil.** Porto Alegre, ed, Cinco Continentes, 2011, 248p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal.** San José, p. 586, 1997.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: CORAG, 1988, 525 p.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; CHAVES, R. Variação da massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade. **Scientia Forestalis**. n. 53, p. 71-78, 1998.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; NARDELLI, A. M. B.; DE SOUZA, A. L. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 495-504, 2010.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; DE SOUZA, A. L.; NARDELLI, A. M. B. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de Carbono em uma floresta madura no município de viçosa. Minas gerais, **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 917-926, 2009a.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, F. (Org.). **Os climas do Sul: Em tempos de mudanças climáticas globais**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217-271.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C, R, et al, (Eds.). **Fixação de carbono:** atualidades, projetos e pesquisas, Curitiba: [s.n.], 2004, p, 47-63.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H..C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, EMBRAPA, 353p, 2013.

SAS – STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM: **Programa de computador**, ambiente VM. Cary, 1993. Versão 6.08.

SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; LIMA, C. S. A. Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. **Cerne,** Lavras, v. 1, n. 1, p. 123-134, 1994.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário Florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2006, 561p.

SEGURA, M.; KANNINEN, M. Allometric Models for Tree Volume and Total Aboveground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica. **Biotropica**, v. 37, n. 1, p. 2-8, 2005.

SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da mata atlântica ocorrentes na reserva florestal da companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES**. Revista Árvore**, v. 15, n. 3, p. 257-273, 1991.

TANS, P.; KEELING, R. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. NOAA/ESRL and Scripps Institution of Oceanography, 2014. Disponível em: <http://www,esrl,noaa,gov/gmd/ccgg/trends/>, Acesso em: 11 abril, 2014.

TRAUTENMÜLLER, J. W.; BALBINOT, R.; BORELLA, J.; TREVISAN, R.; BALESTRIN, D.; VENDRUSCOLO, R.; SABADINI, A. M. Variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Cordia americana* e *Alchornea triplinervia*. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 817-821, 2014b.

TREVISAN, R.; DENARDI, L.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Efeito do desbaste e variação longitudinal da massa específica básica da madeira de ***Eucalyptus grandis***. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p.393-399, 2012b.

TURNER, W. R.; OPPENHEIMER, M.; WILCOVE, D. S. A force to fight global warming. **Nature**, v. 462, p. 278-279, 2009.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF/ UFV, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

6 CONCLUSÃO GERAL

De maneira geral e considerando que os dois fragmentos de FED possuem características ecológicas e edáficas diferenciadas ambos os fragmentos apresentaram resultados condizentes com esta tipologia florestal. Frederico Westphalen foi classificada como FED Montana e floresta primária alterada, Iraí como FED Aluvial e floresta secundária em estágio avançado de regeneração. Nesse cenário e nas condições que o presente trabalho foi desenvolvido, conclui-se que:

O estoque de biomassa para a FED foi estimado em 371,1 $Mg.ha^{-1}$, onde o E4 apresentou mais de 89% da biomassa acumulada acima do solo e os galhos grossos correspondeu a 32,8% seguidos de fuste (32,5%), galhos finos (10,2%), miscelâneas (7,4%), casca (4,0%) e folhas (2,2).

O ajuste das equações tradicionalmente utilizadas em volumetria não apresentou resultados satisfatórios, assim, o procedimento de *Stepwise* gerou o modelo com menor $S_{xy}\%$ (33,5) e melhor $R^2_{aj.}$ (0,972), para a forma não estratificada. Para a forma estratificada, a classe 1 não proporcionou bom ajuste, porém, para a classe 2 o procedimento Stepwise demonstrou bons resultados com $S_{xy}\%$ de 26,8 e $R^2_{aj.}$ de 0,968.

A estimativa de biomassa por métodos indiretos superestimaram a biomassa do fuste com relação ao método direto (PST), esta chegou a 75,2% no caso do $PVrM_{pond}$. Porém as formas que utilizaram o Ve não diferiram estatisticamente do PST.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOAL, J. R.; ARÉVALO, J. R.; FERNÁNDEZ, Ä. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands). **Flora,** v. 200, p. 264–274, 2005.

ABREU, J. C. **Modelagem de biomassa e de nutrientes de espécies da caatinga no município de Floresta-PE**. 2012. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2012.

ALVAREZ, E.; DUQUE, A.; SALDARRIAGA, J.; CABRERA, K.; SALAS, G. de las; VALLE, I.; LEMA, A.; MORENO, F.; ORREGO, S.; RODRÍGEZ, L. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. **Forest Ecology and Management.** Amsterdam, v. 267, p. 297-308, 2012.

ANGELINI, R.; GOMES, L. C. **O artesão de ecossistemas: construindo modelos com dados**. 1. ed. Maringa-PR: Editora UEM, 2009. 173f.

ANGELSEN, A. (Ed.). **Moving ahead with REDD: Issues, Options, and Implications**; CIFOR: Bogor, Indonesia, 2008, 172p.

ANGELSEN, A. (Ed.). **Realising REDD+: national strategy and policy options.** CIFOR, Bogor, Indonesia, 2009, 362p.

APG (Angiosperm Phylogeny Group). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**. v. 161, p. 105-121, 2009.

ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 257-268, 2012.

AVITABILE, V.; HEROLD, M.; HERNRY, M.; SCHMULLIUS, C. Mapping biomass with remote sensing: a comparison of methods for the case study of Uganda. **Carbon Balance and Management**, Moscow, v. 6, n. 7, 2011.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; SILVA, J. N. M.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**, v. 10, p. 545-562, 2004.

BALBINOT, R. et al. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná. **Floresta**, v. 38, p. 317-324, 2008.

BASUKI, T. M.; VAN LAAKE, P. E.; SKIDMORE, A. K.; HUSSIN, Y. A. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland *Dipterocarp* forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 257, p. 1684-1694, 2009.

BREUGEL, M. van; RANSIJIN, J.; CRAVEN, D.; BONGERS, F.; HALL, J. S. Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 262, p. 1648-1657, 2011.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, Lawrence, v. 35, p. 881-902, 1989.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests**: a primer. Rome: FAO, p. 55, 1997.

BROWN, S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 363-372, 2002.

BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; CORRÊA, R. S.; BRUN, F. G. K; VACCARO, S. Variação sucessional no acúmulo de biomassa em Floresta Estacional Decidual, Santa Tereza – RS. **Biomassa e Energia**, Viçosas, v. 2, n. 1, p. 47-56, 2005.

BUNKER, D. E.; DE CLERCK, F.; BRADFORD, J. C.; COLWELL, R. K.; PERFECTO, I.; PHILLIPS, O. L.; SANKARAN, M.; NAEEM, S. Species loss and aboveground carbon storage in a tropical forest. **Science**, v. 310, p. 1029-1031, 2005.

BURGER, D. M.; DELITTI, W. B. C. Modelos preditores da fitomassa em floresta da restinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 143-153, 2010.

BURGER, D. M.; DELITTI, W. B. C. Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil. **Biota Neotrop**., v. 8, n. 4, p. 131-136, 2008.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de** *Ilex paraguariensis.* **Avaliação na safra e na safrinha**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CHAVE, J.; CONDIT, R.; AGUILAR, S.; HERNANDEZ, A.; LAO, S.; PEREZ, R. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. **Philosophical Transactions of the Royal Society Series B-Biological Sciences**, v. 359, p. 409-420, 2004.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FOLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, p. 87–99, 2005.

CHRISTENHUSZ, M. J. M.; REVEAL, J. L.; FARJON, A.; GARDNER, M. F.; MILL, R. R.; CHASE, M. W. A New Classification and Linear Sequence of Extant Gymnosperms. **Phytotaxa**, New Zealand, Auckland, v. 19, n. 1, p. 19-55-70, 2011.

CLARK, D. B.; KELLNER, J. R. Tropical forest biomass estimation and the fallacy os misplaced concreteness. **Journal of Vegetation Science**, v. 23, p. 1191-1196, 2012.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 97-104, 2009.

CONDON, M. A.; SASEK, T. W.; STRAIN, B. R. Allocation patterns in 2 tropical vines in response to increased atmospheric CO2. **Functional Ecology**, v. 6, p. 680-685, 1992.

CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; KIRCHNER, F. F.; ROSOT, N. C. Os projetos de redução de emissões do desmatamento e da degradação florestal (REDD). **Floresta,** Curitiba, v. 42, n. 1, p. 177-188, 2012.

COSTA, M. P.; PEREIRA, J. A. A.; BENICIO, M. H. M.; SOUZA, H.; FONTES, M. A. L.; GARCIA, P. O. Alometria e arquitetura de *Copaifera langsdorffii* (Desf.) Kuntze (Fabaceae) em fotofisionomias neotropicais no sul de Minas Gerais. **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 223-240, 2012.

CURTO, R. A.; LOUREIRO, G. H.; MÔRA, R.; MIRANDA, R.O.V.; NETTO, S. P.; SILVA, G. F. Relação hipsométrica em floresta estacional decidual. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 1, p. 57-66, 2014.

DOWNES, G. M.; RAYMOND, C. A. Variation in wood density in plantation eucalypts. In: DOWNES, G.M. et al. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. Australia: CSIRO Publishing, p. 88-99. 1997.

EISFELD, R.; EISFELD, C. L.; FERREIRA, J. M.; PIMENTEL, A.; RODRIGUES, F.; ALMEIDA, A. Modelagem da massa específica básica dos cavacos a Partir de variáveis dendrométricas e da massa Específica do disco. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 877-886, 2009.

ENQUIST, B. J.; NIKLAS, K. J. Invariant scaling relations across tree-dominated communities. **Nature**, v. 410, p. 655-660, 2001.

ENQUIST, B. J.; WEST, G. B.; CHARNOV, E. L.; BROWN, J. H. Allometric scaling of production and life-history variation in vascular plants. **Nature**, v. 401, p. 907-911, 1999.

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. In: LEVINE, J. S. (Ed,) **Global Biomass Burning**: Atmospheric Climatic and Biospheric Implications, Boston: MIT, p. 92-105, 1991.

FEARNSIDE, P. M.; LEAL FILHO, N.; FERNANDES, F. M. Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 98, n. 9, p. 16733-16743, 1993.

FEARNSIDE, P. M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 90, n. 1-3, p. 59-87, 1997.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 269 f., 1992.

FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ, J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CARVALHO JR., A. A.; COSTA, A.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; NADRUZ COELHO, M. A.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T.; ZAPPI, D. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010. 1699p.

GALLOWAY, J. N.; DENTENER, F. J.; CAPONE, D. G.; BOYER, E. W.; HOWARTH, R. W.; SEITZINGER, S. P.; ASNER, G. P.; CLEVELAND, C. C.; GREEN, P. A.; HOLLAND, E. A.; KARL, D. M.; MICHAELS, A. F.; PORTER, J. H.; TOWNSEND, A. R.; VOROSMARTY, C. J. Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, v. 70, p. 153–226, 2004.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na Região centro-leste do estado de minas gerais, Minas gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 895-905, 2011.

GRANADOS, J.; KÖRNER, C. In deep shade, elevated CO2 increases the vigor of tropical climbing plants. **Global Change Biology**, v. 8, p. 1109–1117, 2002.

GUEDES, B.; ARGOLA, J.; PUNÁ, N.; MICHONGA, E.; MONTEIRO, J. **Estudo da biomassa florestal numa floresta aberta de miombo no distrito de Bárué, Manica**. Moçambique: Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, 2001. pt. 2. Relatório das atividades de julho/2001.

HALLÉ, F. Arquitectura de los árboles. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 45, n. 3-4, p. 405-418. 2010.

HENRY, M.; BESNARD, A.; ASANTE, W. A.; ESHUN, J.; ADU-BREDU, S.; VALENTINI, R.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRÉ, L. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 260, p. 1375-1388, 2010.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P. da; ROCHA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Revista Floresta**, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO2: uma oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 125-145.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO2: uma oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 38-76.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2. ed. revista e ampliada, 2012, 271 p.

IMANÃ-ENCINAS, J.; PAULA, J. E.; CONCEIÇÃO, C. A. Florística, volume e biomassa lenhosa de um fragmento de Mata Atlântica no município de Santa Maria de Jetibá, Espirito Santo. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 565-576, 2012.

IURK, M. C.; SANTOS, E. P.; DLUGOSZ, F. L.; TARDIVO, R. C. Levantamento florístico de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial do Rio Iguaçu, município de Palmeira, PR. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 605-617, jul./set. 2009.

KETTERINGS, Q. M.; COE, R.; NOORDWIJK, M. van.; AMBAGAU, Y.; PALM, C. A. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 146, p. 199-209, 2001.

KÖRNER, C. Through enhanced tree dynamics carbon dioxide enrichment may cause tropical forests to lose carbon. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 359, p. 493–498, 2004.

KRAY, J. G.; JARENKOW, J. A. Estrutura do componente arbóreo de mata estacional de encosta do Parque de Itapuã, Viamão, RS, 2003. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 6., 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2003. Cap. III – Florestas Estacionais, p. 452-453.

LAURANCE, W. F.; NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, S. G.; ANDRADE, A.; RIBEIRO, J.; GIRALDO, J. P.; LOVEJOY, T. E.; CONDIT, R.; CHAVE, J.; HARMS, K. E.; D'ANGELO, S. Rapid decay of tree-community composition in Amazonian forest fragments. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, v. 103, p. 19010-19014, 2006.

LI, C. P.; XIAO, C. W. Above- and belowground biomass of Artemisia ordosica communities in three contrasting habitats of the Mu Us desert, northern China. **Journal of Arid Environments**, v. 70, n. 2, p. 195-207, 2007.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Influência do desbaste em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 151-160, 2005.

LIMA, A. J. N.; SUWA, R.; RIBEIRO, G. H. P. M.; KAJIMOTO, T.; SANTOS, J.; SILVA, R. P.; SOUZA, C. A. S.; BARROS, P. C.; NOGUCHI, H.; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 277, p. 163-172, 2012.

LITTON, C. M.; KAUFFMAN, J. B. Allometic models for predicting abovegroud biomass in two widespread woody plants in Hawaii. **Biotropica**, v. 40, n. 3, p. 313-320, 2008.

LONGHI, S. J.; NASCIMENTO, A. R. T.; FLEIG, F. D.; DELA-FLORA, J. B.; FREITAS, R. A.; CHARÃO, L. W. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal no município de Santa Maria-Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 115-133, 1999.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 4. Ed. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 2002a, v. 1, 368 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. Ed. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 2002b, v. 2, 384 p.

MACHADO, S. A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JUNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliotti* no Paraná. **Revista Cerne**, v. 1, n. 1, p. 5-12, 1994.

MACHADO, S. A.; FIGUEREIDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: UFPR, 2003. 309p.

MACHADO, S. A.; ZAMIN, N. T.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; MENEGAZZO, C. S. Comparação dos parâmetros fitossociológicos entre três estratos de um fragmento de floresta ombrófila mista. **Cerne,** Lavras, v. 19, n. 3, p. 365-372, jul./set. 2013.

MALHI, Y.; BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; ALMEIDA, S.; ALVAREZ, E.; ARROYO, L.; CHAVE, J.; CZIMCZIK, C. I.; FIORE, A. D.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTOYA, L. M. M.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ VARGAS, P.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMAO, R.; SILVA, J. N. M.; LEZAMA, A. T.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; TERBORGH, J.; VINCETI, B.; LLOYD, J. The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. **Global Change Biology**, v. 10, p. 563–591, 2004.

MALHI, Y.; WOOD, D.; BAKER, T. R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O. L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ VARGAS, P.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J. N. M.; LEZAMA, A. T.; TERBORGH, J.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; VINCETI, B. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 12, p. 1107-1138, 2006.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das angiospermas: myrtales.** Santa Maria, Ed, da UFSM, 1997a, 304p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas: das magnoliáceas as flacurtiáceas**. Santa Maria, Ed, da UFSM, 1997b, 271p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas: das bixáceas as rosáseas**. Santa Maria, Editora UFSM, 2000, 240p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas: leguminosas.** Santa Maria, Ed, da UFSM, 2007, 199p.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO2: uma oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 197-221.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L. M; MELLO, R. R. DE; SANTINI, E. J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011.

MEYER, H. A. The standard error of estimate of tree volume from the logarithmic volume equation. **Journal Forestry**, v. 36, p. 340-342. 1943.

MIRANDA, D. L. C.; MELO, A. C. G.; SANQUETTA, C. R. Equações alométricas para estimativas de biomassa e carbono em árvores de reflorestamento de restauração. **Revista Árvore,** v. 35, n. 3, p. 679-689, 2011.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biomas – Mata Atlântica**, 2014. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>, Acesso em: 30 de Novembro, 2014.

MORALES, F. E. R. **Estimação dos parâmetros de um círculo para modelos Heteroscedásticos de regressão**. 102f. Dissertação (Mestrado em Estatística) Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2006.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

MULLER-LANDAU, H. C. Interspecific and Inter-site Variation in Wood Specific Gravity of Tropical Trees. **Biotropica**, v. 36, n. 1, p. 20-32, 2004.

NÁVAR, J. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 427–434, 2009.

NEMANI, R. R.; KEELING, C. D.; HASHIMOTO, H.; JOLLY, W. M.; PIPER, S. C.; TUCKER, C. J.; MYNENI, R. B.; RUNNING, S. W. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. **Science**, v. 300, p. 1560–1563, 2003.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, p. 1853-1867, 2008.

PARDÉ, J. **Forest biomass**. In: Forestry Abstract Review Article. França: Station de Silviculture et de Production, Centre National de Recherches Forestieres, v. 41. p. 349-352. 1980.

PARRESOL, B. R. Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons. **Forest Science**, v. 45, n. 4, p. 573-593, 1999.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas – Anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso**. Brasília, Fundação Mokiti Okada – MOA, 1997.

PAULA, J. E.; COSTA, K. P. **Densidade da madeira de 932 espécies nativas do brasil.** Porto Alegre, ed, Cinco Continentes, 2011, 248p.

PERES, M. L.; GATTO, D. A.; STAGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; BELTRAME, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto pela variação da massa específica de açoita-cavalo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1596-1602, 2012.

PHILLIPS, O. L.; GENTRY, A. H. Increasing turnover through time in tropical forests. **Science**, v. 263, p. 954-958, 1994.

PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D.; NÚÑEZ VARGAS, P.; SILVA, N.; TERBORGH, J.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; ALEXIADES, M.; ALMEIDA, S.; BROWN, S.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CZIMCZIK, C. I.; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; KUEBLER, C.; LAURANCE, S. G.; NASCIMENTO, H. E. M.; OLIVIER, J.; PALACIOS, W.; PATIÑO, S.; PITMAN, N.; QUESADA, C. A.; SALDIAS, M.; TORRES LEZAMA, A.; VINCETI, B. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976–2001. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 359, p. 381-407, 2004.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal.** San José, p. 586, 1997.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CORAG, 1988, 525 p.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1942, 360 p.

REGAZZI, A. J.; LEITE, H. G. **Análise de regressão**: **teoria e aplicações em manejo florestal**. Viçosa, MG: UFV/DEF/SIF, 1993. 232 p. Apostila.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: CORAG, 1988, 525 p.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; CHAVES, R. Variação da massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade. **Scientia Forestalis**. n. 53, p. 71-78, 1998.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; DE SOUZA, A. L.; NARDELLI, A. M. B. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de Carbono em uma floresta madura no município de viçosa. Minas gerais, **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 917-926, 2009a.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009b.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; NARDELLI, A. M. B; SOUZA, A. L. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de Carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 495-504, 2010.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, v. 24 p. 75-92, 2002.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, F. (Org.). **Os climas do Sul: Em tempos de mudanças climáticas globais**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217-271.

SALATI, E. Emissão x seqüestro de CO2 – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO2: uma oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 15-37, 1994.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al., (Eds.), **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**, Curitiba: [s.n.], 2004, p. 47-63.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2. ed. Curitiba-PR: Multh-graphic gráfica editora, 2009. 270 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, EMBRAPA, 353p, 2013.

SAS – STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM: **Programa de computador**, ambiente VM. Cary, 1993. Versão 6.08.

SCIPIONI, M. C.; FINGER, C. A. G.; CANTARELLI, E. B.; DENARDI, L.; MEYER, E. A. Fitossociologia em fragmento florestal no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 409-419, jul./set., 2011.

SCHNITZER, S. A.; DALLING, J. W.; CARSON, W. P. The impact of lianas on tree regeneration in tropical forest canopy gaps: evidence for an alternative pathway of gap-phase regeneration. **Journal of Ecology**, v. 88, p. 655–666, 2000.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: parte I: modelos de regressão linear e não-linear parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento, e peso de matéria seca.** 1ed. Lavras-MG. Editora UFLA, 2005. 354p.

SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; LIMA, C. S. A. Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. **Cerne,** Lavras, v. 1, n.1 , p. 123-134, 1994.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário Florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2006, 561p.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal.** Santa Maria, UFSM, 1993.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2. ed. Santa Maria: UFSM/FACOS, 2009. 293 p.

SEGURA, M.; KANNINEN, M. Allometric Models for Tree Volume and Total Aboveground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica. **Biotropica**, v. 37, n. 1, p. 2–8, 2005.

SEMA/UFSM-RS. Governo do Estado. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Relatório Final do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul. Porto Alegre**, 2001. 706 p. v. 1-2.

SILVA, J. A. **Estimativa de crescimento em altura de Leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.] por meio do Modelo ARIMA.** 2008. 64f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2008.

SILVEIRA, P.; KOEKLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária (PR). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 245-252, 2008.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, MUUKKONEN, P.; LEHTONEN, A.; WEISS, P. Indirect methods of large forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, [S.l.], Feb., 2006.

SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da mata atlântica ocorrentes na reserva florestal da companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES**. Revista Árvore**, v. 15, n. 3, p. 257-273, 1991.

SOS MATA ATLÂNTICA. A Mata Atlântica. Floresta, 2014. Disponível em: <http://www. sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/>. Acesso em: 11 nov, 2014.

STEGEN, J. C.; SWENSON, N. G.; VALENCIA, R.; ENQUIST, B. J.; THOMPSON, J. Above-ground forest biomass is not consistently related to wood density in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 18, p. 617-625, 2009.

STEPHENSON, N. L.; VAN MANTGEM, P. J. Forest turnover rates follow global and regional patterns of productivity. **Ecology Letters**, v. 8, p. 524-531, 2005.

SVOB, S.; ARROYO-MORA, J. P.; KALACSKA, M. The development of a forestry geodatabase for natural forest management plans in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 327, p. 240-250, 2014.

SWENSON, N. G.; ENQUIST, B. J. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. **American Journal of Botany**, v. 94, p. 451-459, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TANS, P.; KEELING, R. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. NOAA/ESRL and Scripps Institution of Oceanography, 2014. Disponível em: <http://www,esrl,noaa,gov/gmd/ ccgg/trends/>, Acesso em: 11 abril, 2014.

TOLEDO, D. P.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; SOARES, C. P. B Equações de biomassa e estoque de carbono do pinhão manso, no município de Viçosa, MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1998-2004, 2012.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do ***Eucalyptus saligna*** e ***Eucalyptus grandis***. **IPEF**. n. 29, p. 37-45, 1985.

TRAUTENMÜLLER, J. W.; BALBINOT, R.; GONZATTO, G. L.; WATZLAWICK, L. F.; VENDRUSCOLO, R. Relação hipsométrica em Floresta Estacional Decidual. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1633-1641, 2014a.

TRAUTENMÜLLER, J. W.; BALBINOT, R.; BORELLA, J.; TREVISAN, R.; BALESTRIN, D.; VENDRUSCOLO, R.; SABADINI, A. M. Variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Cordia americana* e *Alchornea triplinervia*. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 817-821, 2014b.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; MENEZES, L. F. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n .4, p. 377-387, 2007.

TREVISAN, R; ELOY, E; DENARDI, L; HASELEIN, C.R; CARON, B.O. Variação axial e efeito do desbaste na massa específica das árvores centrais de *Eucalyptus grandis.* **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 2, p. 312-318, 2012a.

TREVISAN, R.; DENARDI, L.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Efeito do desbaste e variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 393-399, 2012b.

TURNER, W. R.; OPPENHEIMER, M.; WILCOVE, D. S. A force to fight global warming. **Nature**, v. 462, p. 278-279, 2009.

VALE, A. T.; ROCHA, L. R.; MENEZZI, C. H. S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 387-394, 2009.

VERES, Q. J. I. **Fitossociologia, dinâmica e biomassa de um fragmento da floresta estacional semidecidual - Parana**. Irati: UNICENTRO, 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro-Oeste.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF/ UFV, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Quantificação da biomassa em um floresta estacional decidual em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 419-425, 2006.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Biomassa e macronutrients de uma Floresta Estacional Decidual em Itaara-RS, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, 99-105, 2013.

WANG, W.; ANDERSON, B. T.; PHILLIPS, N.; KAUFMANN, R. K.; POTTER, C.; MYNENI, R. B. Feedbacks of vegetation on summertime climate variability over the North American grasslands. Part I: Statistical analysis. **Earth Interactions**, v. 10, n. 17, p. 1-26, 2006.

WASHUSEN, R.; BAKER, T.; MENZ, D.; MORROW, A. Effect of thinning and fertilizer on the cellulose crystallite width of *Eucalyptus globulus*. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 39, n. 7, p. 569-578, 2005.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II**. Curitiba: UFPR, 2003. 120f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHENER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. Fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R. et al. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004. p. 153-173.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 345-352, 2012.

WIELICKI, B. A.; WONG, T. M.; ALLAN, R. P.; SLINGO, A.; KIEHL, J. T.; SODEN, B. J.; GORDON, C. T.; MILLER, A. J.; YANG, S. K.; RANDALL, D. A.; ROBERTSON, F.; SUSSKIND, J.; JACOBOWITZ, H. Evidence for large decadal variability in the tropical mean radiative energy budget. **Science**, v. 295, p. 841-844, 2002.

WIEMANN, M. C.; WILLIAMSON, G. B. Radial gradients in the specific gravity of wood in some tropical and temperate trees. **Forest Science**, v. 35, n. 1, p. 197-210, 1989.