

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GISLAINE VIEIRA

**MODELAGEM DA BIOMASSA VIVA E DO ESTOQUE DE CARBONO DE
Nectandra grandiflora NEES EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO-PR**

CURITIBA

2011

GISLAINE VIEIRA

**MODELAGEM DA BIOMASSA VIVA E DO ESTOQUE DE CARBONO DE
Nectandra grandiflora NEES EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO-PR**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador:
Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Co-orientador:
Dr. Miriam Machado Cunico

CURITIBA

2011

Vieira, Gislaine

Modelagem da biomassa viva e do estoque de carbono em *Nectandra grandiflora* Nees em São João do Triunfo- Pr/ Gislaine Vieira.
– Curitiba, 2011.

75 f.: il. (algumas color.)

Orientador: Carlos Roberto Sanquetta

Co-orientador: Miriam Machado Cunico

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

1. Carbono. 2. Modelagem. 3. *Nectandra grandiflora*

CDD

CDU

*Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para
a vitória é o desejo de vencer.*

(Mahatma Gandhi)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS, pela vida, saúde, força e sabedoria, que me fizeram chegar até aqui.

Agradeço especialmente, aos meus pais, Antonio Vieira e Maria Aparecida Vieira, que nunca deixaram de acreditar em mim, por terem me incentivado e principalmente por suas sábias palavras, meus imensos agradecimentos.

Aos meus irmãos Elizeu e Eliéber, que me proporcionaram muita alegria e estiveram sempre comigo nas horas que mais precisei.

Aos meus fiéis amigos, Tânia Alves da Silva, Daniel Moreira, Laercio da Silveira Soares Barbeiro, Denis Norton Rabij, Sergio Pozzetti, Wallace Pugliese, Diogo Berwanger Januario, Regina Américo Ribeiro, Paulo Roberto Zambonim e Carla Patrícia Rosa, que foram fundamentais na minha vida, apoiando e acima de tudo me incentivando, por isso meus eternos agradecimentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta, pelos ensinamentos, orientações e oportunidades oferecidas, meus sinceros agradecimentos.

A minha co-orientadora Miriam Machado Cunico, pela grande atenção a mim direcionada, por toda amizade, e principalmente por ter depositado em mim sua confiança. Muito Obrigada.

Aos professores Sylvio Péllico Netto, Celso Garcia Auer, Nelson Nakajima, pelas palavras de incentivo, pelo apoio e disponibilidade oferecida, pela a ajuda técnica e pelo grande exemplo.

A UFPR e ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, que me proporcionaram esta oportunidade e experiência de realizar este estudo.

Á Reuni, pela bolsa de estudos concedida, durante o mestrado.

A TODOS, que de alguma maneira participaram para a realização deste trabalho e de minha vida.

RESUMO

MODELAGEM DA BIOMASSA VIVA E DO ESTOQUE DE CARBONO DE *Nectandra grandiflora* NEES EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO-PR

As mudanças climáticas, efeito estufa e o aquecimento do planeta são preocupações internacionais. Entre as maiores fontes de emissão de gases de efeito estufa estão a queima de combustíveis fósseis, os desmatamentos e as queimadas. Uma maneira de lidar com esta situação é mediante a fixação de carbono nas florestas. Vários trabalhos sobre quantificação de carbono em espécies brasileiras já foram efetuados, porém trabalhos científicos sobre espécies nativas da Mata Atlântica são muito raros, particularmente no que diz respeito ao desenvolvimento de um protocolo técnico-científico para estabelecimento de projetos de geração de créditos de carbono. Este trabalho busca auxiliar no suprimento desse déficit, apresentando uma nova tecnologia para o desenvolvimento de projetos de carbono florestal para a espécie *Nectandra grandiflora* Nees (canela-amarela). Esta espécie apresenta potencial para reflorestamento, atendendo assim as necessidades do mercado de carbono. Os dados provêm de 30 árvores coletadas em São João do Triunfo (PR). Cada árvore foi dividida nos componentes: folhagem, galhos, fustes e raízes. O material passou por secagem, pesagem, trituração, moagem e determinação dos teores de carbono e as análises estatísticas resultaram num modelo individual de carbono em função do diâmetro à altura do peito (dap). A média dos teores de carbono para folhagem foi de 44,1%, para galhos vivos 42,7%, raiz 42,4% e fuste 42,1%, com uma média ponderada de 42,3%, valor inferior ao *default* do IPCC (2003). A folhagem apresentou teores de carbono significativamente maiores em todos os compartimentos analisados. A maior fração de biomassa seca na espécie está no fuste, seguido de galhos, raízes e folhagem. A equação $PCTotal = \exp [-2,26388 + 2,38201 \times \ln (dap)] \times 0,42334$ representa o comportamento do estoque de carbono em função do dap na espécie. Conclui-se que é possível estimar o estoque de carbono da espécie por meio de modelos matemáticos. As estimativas total individual da árvore e do seu fuste apresentaram melhor qualidade de ajuste, enquanto que para os compartimentos folhagem, raízes e galhos os resultados além de satisfatórios, mostraram-se mais acurados.

Palavras chaves: Carbono, Modelagem, *Nectandra grandiflora*

ABSTRACT

MODELING ALIVE BIOMASS AND CARBON STOCK FOR *Nectandra grandiflora* NEES IN SÃO JOÃO DO TRIUNFO-PR

Climate change, Greenhouse effects and Global warming are issues of international concern. Major GHG emissions include burning of fossil fuels, deforestation and biomass burning. Sinking CO₂ into forests is one of the forms of handling the problem. Several studies on the quantification of carbon in the Brazilian species have already been made. However, scientific studies on native species of the Atlantic are very rare, particularly in what refers to developing a protocol for establishing technical and scientific projects for crediting carbon. The goal of this study is to help in fulfilling that gap, by presenting a new technology for developing forest carbon projects in view of the species *Nectandra grandiflora* Nees (canela amarela). This technique has great potential for reforestation, already taking into account the carbon market needs. The data came from 30 trees harvested in São João do Triunfo municipality (PR). The trees were divided according to its components: foliage, branches, trunk and roots. The material was submitted to lab procedures, i.e., drying, weighting, triturating, grinding and carbon determination with the resulting statistical analysis is an individual tree carbon stock model as a function of dbh. The average carbon fraction was: 44.1% for foliage, 42.7% for branches, 42.4% for roots and 42.1% for the trunk, and the weighted mean was 42.3%, lesser than the IPCC default. Foliage showed carbon fractions significantly greater than the other biomass components analyzed. The distribution of dry biomass in the studied species was mostly in the trunk, and afterwards in the branches, roots and, finally, foliage. The conclusion is that the equation $PCTotal = \exp [-2.26388 + 2.38201 \times \ln (dap)] \times 0.42334$ represents the behavior of the carbon stock in the species studied. In conclusion, it is possible to estimate the carbon stock of the species by means of mathematical models. Estimates total individual tree and its trunk had better quality adjustment, whilst to the compartments foliage, twigs and roots the results were satisfactory, but more accurate.

Key-words: Carbon, Modeling, *Nectandra grandiflora*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ALTERAÇÃO NO NÍVEL DE CO ₂ NA ATMOSFERA NOS ÚLTIMOS MIL ANOS.....	6
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO ESTADO DO PARANÁ.....	22
FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE <i>Nectandra grandiflora</i> NA REGIÃO DE SÃO JOÃO DO TRIUNFO.....	28
FIGURA 4 – ABATE DAS ÁRVORES.....	30
FIGURA 5 – SEPARAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS.....	30
FIGURA 6 – PESAGEM DAS AMOSTRAS INDIVIDUALMENTE.....	30
FIGURA 7 – VARIAÇÃO DA BIOMASSA SECA MÉDIA EM CADA COMPARTIMENTO EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE DAP(CM).....	37
FIGURA 8 – PROPORÇÃO DE CARBONO EM 30 ÁRVORES DE <i>Nectandra grandiflora</i> NEES	38
FIGURA 9 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DA FOLHAGEM EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	42
FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DAS RAÍZES EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	44
FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DE GALHOS EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	46
FIGURA 12 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DO FUSTE EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	48
FIGURA 13 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA TOTAL EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	50
FIGURA 14 – SECAGEM DAS AMOSTRAS.....	52
FIGURA 15 – FRAGMENTAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	52
FIGURA 16 – MOINHO DE SEIS FACAS USADO PARA MOAGEM DO MATERIAL.....	52
FIGURA 17 – APARÊNCIA DAS AMOSTRAS APÓS MOAGEM.....	52
FIGURA 18 – ANALISADOR DE CARBONO LECO C-144.....	53

FIGURA 19 – TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO POR COMPARTIMENTO.....	56
FIGURA 20 – TEORES MÉDIOS DE CARBONO E AMPLITUDE PARA CADA COMPARTIMENTO EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	57
FIGURA 21 – PROPORÇÃO DE CARBONO EM 30 ÁRVORES DE <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	58
FIGURA 22 – MODELO DE ESTOQUE INDIVIDUAL DE CARBONO EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES EM FUNÇÃO DO DAP.....	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	–	MUDANÇAS NO SISTEMA CLIMÁTICO GLOBAL.....	7
TABELA 2	–	MAIORES EMISSORES DE CO ₂ EM 1990 (X TON. DE CO ₂).....	9
TABELA 3	–	MODELOS TESTADOS PARA ESTIMAR A BIOMASSA SECA TOTAL DE <i>Nectandra glandiflora</i>	32
TABELA 4	–	MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA SECA E DEMAIS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	40
TABELA 5	–	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO PESO SECO DA FOLHAGEM EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	40
TABELA 6	–	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO PESO SECO DE RAÍZES EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	43
TABELA 7	–	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO PESO SECO DO GALHOS EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	45
TABELA 8	–	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO PESO SECO DO FUSTE EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	47
TABELA 9	–	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO PESO SECO TOTAL EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	49
TABELA 10	–	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS TEORES DE CARBONO POR COMPARTIMENTO DA BIOMASSA EM <i>Nectandra grandiflora</i>	55
TABELA 11	–	ANOVA PARA TEORES DE CARBONO EM CADA COMPARTIMENTO EM <i>Nectandra grandiflora</i> NEES.....	56
TABELA 12	–	ESTOQUE INDIVIDUAL DE CARBONO EM ARVORES DA ESPÉCIE <i>Nectandra grandiflora</i>	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.1.1 Objetivos específicos.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EFEITO ESTUFA.....	5
2.2 PROTOCOLO DE QUIOTO.....	8
2.3 FIXAÇÃO DE CARBONO NAS FLORESTAS.....	11
2.4 BIOMASSA FLORESTAL.....	13
2.5 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO POR MODELOS MATEMÁTICOS.....	17
2.6 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	20
3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DA ESPÉCIE	24
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	24
3.2 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE.....	25
3.2.1 Descrição Botânica.....	25
3.2.2 Distribuição e Ocorrência.....	26
3.2.3 Aspectos Ecológicos.....	26
3.2.4 Usos Econômicos.....	26
4 CAPÍTULO 1 – QUANTIFICAÇÃO E MODELAGEM DA BIOMASSA VIVA	28
4.1 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1.1 Planejamento da Amostragem	28
4.1.2 Variáveis Dendrométricas Medidas nas Árvores-Amostra.....	29
4.1.3 Determinação da Biomassa Verde.....	29
4.1.4 Determinação da Biomassa Seca.....	31
4.1.5 Estimativa do Teor de Umidade.....	31
4.1.6 Matriz de Correlação das Variáveis de Biomassa Seca.....	31
4.1.7 Ajuste das Equações de Biomassa.....	32
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.2.1 Variação da Biomassa Seca Média em cada Compartimento em Função das Classes de Dap (cm).....	36
4.2.2 Matriz de Correlação.....	39
4.2.3 Ajustes para a Folhagem.....	40
4.2.4 Ajustes para as Raízes.....	43
4.2.5 Ajustes para os Galhos.....	45
4.2.6 Ajustes para o Fuste.....	47
4.2.7 Ajustes para a Biomassa Total da Árvore.....	49
5 CAPÍTULO 2 - QUANTIFICAÇÃO E MODELAGEM DO ESTOQUE DE CARBONO	51

5.1 MATERIAIS E MÉTODOS	51
5.1.1 Procedimentos Laboratoriais.....	51
5.1.2 Determinação dos Teores de Carbono.....	52
5.1.3 Análise Estatísticas.....	53
5.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.2.1 Teores de Carbono.....	55
5.2.2 Estoque Individual de Carbono.....	58
5.2.3 Modelo Individual de Carbono.....	59
6 CONCLUSÕES	61
7 RECOMENDAÇÕES	63
8 REFERENCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica continua sendo um dos biomas mais ameaçados pelo desmatamento e outros antropismos (SOS MATA ATLÂNTICA/INPE, 2009). Segundo IESB/IG (2007), trabalho realizado no âmbito do PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira), a totalidade da cobertura nativa no bioma atualmente é de 26,97%, sendo 20,81% compostos por diferentes fisionomias florestais.

Uma das fito-fisionomias mais representativas e que ainda detêm expressivos remanescentes nativos do bioma é a Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária. Ela se constitui na floresta símbolo do Paraná, representando no Estado uma superfície original de ocorrência de mais 11,5 milhões hectares, ou aproximadamente 57,8% de seu território (FUPEF, 2000). Porém, segundo o PROBIO, os remanescentes em estágio mais avançado de regeneração atualmente somam apenas 2,14 milhões de hectares, ou seja, 18,5% da área original.

As atividades humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis e o manejo da terra, estão contribuindo para o aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, alterando o balanço radiativo e causando o aquecimento global.

Diante dessas evidências é necessário se preocupar com os efeitos futuros que essa mudança no clima exercerá sobre a humanidade. Uma das formas para atenuar os efeitos do Aquecimento Global se dá por meio das florestas, sendo estas, importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global, uma vez que as árvores armazenam o carbono por meio da fotossíntese (MIRANDA, 2008).

O Efeito Estufa é um problema atual e de grande impacto na sociedade contemporânea. O desmatamento e a degradação das florestas vêm se constituindo numa das principais fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs) pelos países em desenvolvimento. Essas emissões correspondem a aproximadamente 20% do lançamento de GEEs na atmosfera, mas contraditoriamente não estão contempladas por um mecanismo formal dentro da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (UNFCCC) e pelo Protocolo de Quioto (PQ) (ANGELSEN, 2008), que, por enquanto, prevê que somente as atividades de

aflorestamento e reflorestamento são elegíveis para projetos de créditos de carbono dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Contudo, várias iniciativas estão sendo desenvolvidas voluntariamente no sentido de valorizar o papel das florestas em outros mercados de carbono, como o REDD (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação), a CCX (Bolsa do Clima de Chicago), o VCS (Padrão Voluntário de Carbono) e a Compensação/Neutralização de Emissões, entre outras.

Um grande desafio para o estabelecimento de projetos de carbono florestal é a especificação de dados e métodos para a definição da linha de base (LB) e de monitoramento para dar credibilidade científica aos projetos. Para que países como o Brasil possam se beneficiar do mercado de carbono florestal, notadamente o mercado voluntário, é imprescindível demonstrar cientificamente o ponto de partida temporal do cômputo (LB) e formas comprovadas de monitorar o estoque de carbono e sua dinâmica com o crescimento e regeneração da floresta, bem como quantificar os possíveis vazamentos e a não permanência.

Por acumular na estrutura carbônica das árvores elementos poluentes nocivos à qualidade de vida, cresce a cada dia que passa o interesse pelos estudos de biomassa e conteúdo de carbono em florestas. Estas estocam tanto na biomassa acima como abaixo do solo, e representam mais carbono do que atualmente existe em relação ao estoque na atmosfera. Isso é justificado em função das florestas cobrirem cerca de 30% da superfície da terra e fixar em torno de 85% do carbono orgânico (HOUGHTON, 1994). Para o autor, com a perda da cobertura florestal, perde-se também a maior fonte de carbono do solo, a serapilheira e as raízes, o que, com o uso agropecuário tradicional, leva à emissão de cerca de 25 a 30% deste material estocado em aproximadamente uma década.

A quantificação de biomassa florestal divide-se em métodos diretos que implicam em determinações onde as árvores são cortadas e todos os componentes pesados, e métodos indiretos onde são feitas estimativas utilizando dados de sensoriamento remoto, inventário florestal e de modelagem. Estas últimas podem ser realizadas por meio de relações empíricas entre a biomassa e outras variáveis e por meio da derivação do volume comercial.

Atualmente é cada vez maior o interesse pela fixação de carbono em florestas, principalmente por sua capacidade de remover o dióxido de carbono da

atmosfera (BOSCOLO e BUONGIORNO, 1997; FEARNSIDE et al., 1999; KAUFFMAN, CUMMINGS e WARD, 1994; WOOMER e PALM, 1998).

Entretanto, pesquisas sobre esse tema ainda são escassas. Isso se deve, em grande parte, ao imenso trabalho que demanda a quantificação de carbono e pelo fato deste tema ser ainda recente (SANQUETTA et al., 2004).

Vários trabalhos sobre quantificação de carbono em espécies brasileiras já foram efetuados (SANQUETTA et al., 2004), porém trabalhos científicos sobre espécies nativas da Mata Atlântica são muito raros, particularmente no que diz respeito ao desenvolvimento de um protocolo técnico-científico para estabelecimento de projetos de geração de créditos de carbono. Este quadro encorajou a elaboração deste trabalho, com o objetivo de desenvolver uma nova tecnologia para o desenvolvimento de projetos de carbono florestal para a espécie *Nectandra grandiflora* Nees (canela-amarela), porque apresenta potencial para reflorestamento dentro das premissas do mercado de carbono.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral foi elaborar uma modelagem para a quantificação direta de biomassa e carbono para a espécie em *Nectandra grandiflora* Nees (canela-amarela), que tem ocorrência natural no Bioma Mata Atlântica.

1.1.1 Objetivos específicos

- a) quantificar, pelo método destrutivo, a biomassa aérea e subterrânea de indivíduos de *Nectandra grandiflora* Nees.
- b) avaliar o potencial de fixação de carbono em todos os compartimentos da biomassa (folhagem, fuste, galhos e raízes);
- c) testar modelos e ajustar equações para expressar os quantitativos de carbono na biomassa em função de variáveis de fácil mensuração

d) obter e analisar os teores de carbono dos compartimentos da biomassa, por meio de técnicas laboratoriais;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EFEITO ESTUFA

Ao longo da história foram verificados grandes períodos de alteração climática, mas nada comparável com o que se constatou desde meados do século XX (BINDSCHADLER; BENTLEY, 2005).

Até recentemente, os principais agentes modificadores da superfície terrestre eram agentes naturais, tais como o vento, a chuva, a radiação solar, os vulcões e os terremotos (DEMILLO, 1998). Atualmente, uma das grandes preocupações frente aos olhos dos cientistas no mundo todo são as mudanças climáticas.

Mudanças no sistema climático global são consideradas processos naturais que ocorrem em escalas de tempo de milhares de anos de eras geológicas, porém, o que tem preocupado cientistas e líderes mundiais são a velocidade e a intensidade com que têm ocorrido essas mudanças a partir da Revolução Industrial (CHANG, 2004). A maioria dos cientistas e políticos do mundo assume a existência de um aquecimento em nível global da atmosfera, que é consequência da intensificação do Efeito Estufa (BALBINOT, 2004).

O Efeito Estufa aquece a superfície da Terra em 33°C em média. Esse aquecimento natural permite a existência de água líquida na superfície terrestre, o que se tornou a base para a evolução biológica. A temperatura média na superfície da Terra seria -18°C sem o Efeito Estufa. Porém, com o aumento da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, existe uma tendência de aumento da temperatura global média em função do aumento da concentração. Esta alteração afeta de maneira direta e indireta os ciclos biogeoquímicos, que são a base do funcionamento dos sistemas naturais do planeta. No entanto, o ciclo que está diretamente relacionado a esse processo é o ciclo do carbono (MARTINS, 2004).

Os níveis de CO₂ que se mantiveram durante milênios na faixa de 270 ppm passaram para 370 ppm nos últimos 150 anos e continuam crescendo a uma taxa anual de 0,5% (LAL, 2004) (FIGURA 1).

O excesso da concentração de (GEE) na atmosfera intensifica o fenômeno do Efeito Estufa e é consequência do aumento das suas emissões, ocasionado principalmente por atividades antrópicas. De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2001), as atividades humanas tem aumentado as concentrações atmosféricas de GEE e de aerossóis desde os tempos pré-industriais.

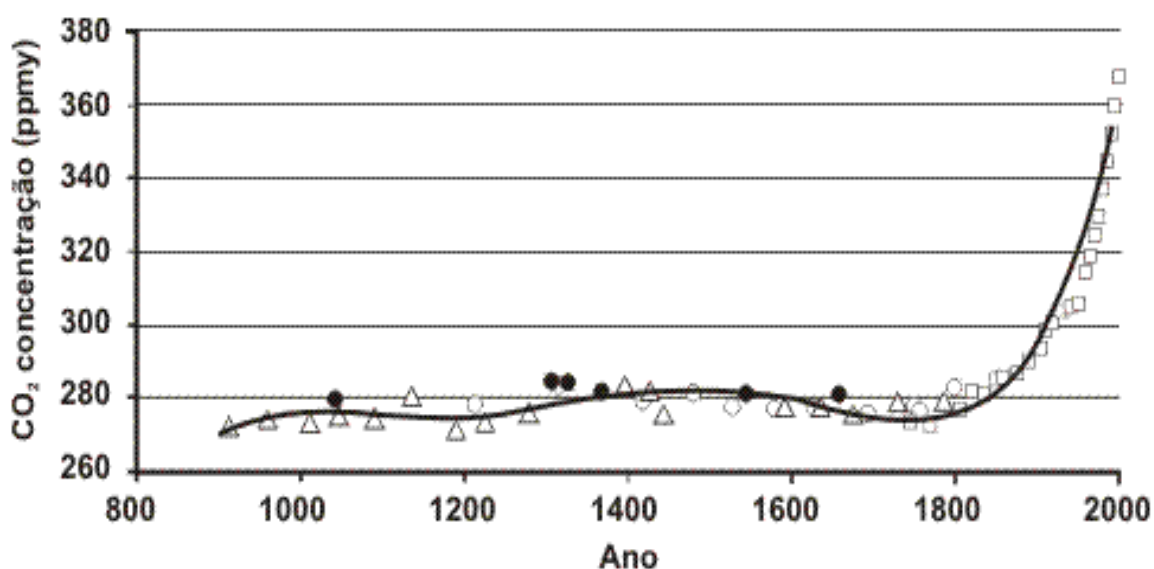


FIGURA 1 - ALTERAÇÃO NO NÍVEL DE CO₂ NA ATMOSFERA NOS ÚLTIMOS MIL ANOS.
FONTE: IPCC, 2001.

Segundo Nutto *et al.* (2002), o aumento do efeito estufa terá como possível consequência o aumento da temperatura média global, e essa temperatura poderá acarretar mudanças na precipitação, umidade e fertilidade do solo, e consequentemente, no desenvolvimento e crescimento das florestas.

Segundo Conrado *et al.* (2006), a biodiversidade será afetada caso as florestas não sejam poupadas. As espécies vegetais e os animais terão que se adaptar a novos regimes climáticos, usarão da migração para procurar locais mais adequados ou mesmo se extinguirão. Esses mesmos autores ainda relatam que com a extinção de espécies, tanto vegetais como animais, as consequências serão graves para o equilíbrio natural trazendo a possibilidade da perda dos serviços ecossistêmicos, do patrimônio genético e dos conhecimentos valiosos para as indústrias farmacêuticas e químicas. Junto com esse patrimônio da humanidade,

desaparecerá a possível cura de tantas doenças para as quais os cientistas procuram princípios ativos em plantas e animais.

Segundo Dalla Corte (2005), outro vetor de acúmulo de carbono na atmosfera é o desmatamento. Em geral o processo de desmatamento consiste na derrubada e queima das árvores. Neste processo o carbono contido na madeira, na forma de biomassa, é liberado para atmosfera na forma de CO₂.

O aquecimento global induzirá muitas mudanças ao sistema climático da Terra durante o século XXI. Tais mudanças afetarão todos os países, tanto nos aspectos econômicos quanto ambientais ou sociais, mas serão sentidas de maneiras diferenciadas (LIMIRO, 2009), conforme mostra a TABELA 1.

Região	Prováveis impactos
África	a) Escassez de água b) Diminuição da produção agrícola c) Diminuição da oferta local de alimentos d) Elevação do nível do mar
Ásia	a) Diminuição da disponibilidade de água b) Elevação do nível do mar e deslocamento de milhões de pessoas c) Diminuição da biodiversidade d) Aumento da morbidade e mortalidade endêmicas e) Alto risco de fome
Austrália e Nova Zelândia	a) Perda significativa da biodiversidade b) Diminuição da produção da agricultura e silvicultura
Europa	a) Maior risco de inundações repentinas b) Redução da disponibilidade de água c) Aumento dos riscos de saúde d) Deslocamento da distribuição das espécies e) Impactos no turismo
América Latina	a) Perda da biodiversidade b) Salinização e desertificação do solo c) Diminuição da produção da agricultura e pecuária d) Aumento do risco da segurança alimentar e) Diminuição da disponibilidade de água para o consumo humano, agricultura e geração de energia
América do Norte	a) Aumento da competição por recursos hídricos b) Aumento dos vetores de diversas doenças
Regiões Polares	a) Mudanças nos ecossistemas naturais b) Redução na espessura e extensão das geleiras
Pequenas Ilhas	a) Aumento das inundações b) Diminuição dos recursos hídricos c) Aumento de invasão por espécies não nativas

TABELA 1 - MUDANÇAS NO SISTEMA CLIMÁTICO GLOBAL
 FONTE: (LIMIRO, 2009)

Tendo em vista esse cenário futuro que nos aguarda, disse o físico americano James Hansen, diretor do Instituto Goddard de Pesquisa da NASA, um dos maiores especialistas em clima do mundo, que “as consequências do efeito estufa serão tão ou mais poderosas a longo prazo que a maior explosão de que se tem notícia” (VICÁRIA; MANSUR, 2007).

2.2 PROTOCOLO DE QUIOTO

A Conferência das Partes realizada em Quioto em 1997 destaca-se como uma das mais importantes, uma vez que durante sua realização foi estabelecido um acordo onde se encontram definidas metas de redução da emissão de GEE para os países compromissados em reduzir essas emissões, além de critérios e diretrizes para a utilização dos mecanismos de mercado. Este acordo ficou conhecido como Protocolo de Quioto (UNFCCC, 2001). Este Protocolo estabelece que durante o primeiro período de compromisso (2008-2012) os países pertencentes ao Anexo I deverão reduzir suas emissões em um nível de no mínimo 5,2% em relação às emissões do ano de 1990. No dia 16 de fevereiro de 2005, após conseguir uma ratificação mínima, o Protocolo de Quioto entrou em vigor, ou seja, quando 190 países depositaram seus instrumentos de ratificação, aceitação, aprovação ou adesão, totalizando 63,7% do total de emissões de CO₂ em 1990 das Partes do Anexo I (UNFCCC, 2010).

Cada país recebeu uma meta diferente de redução dos níveis de poluição, devendo, contudo, ser mantida a meta global estabelecida. A Alemanha, por exemplo, tem de reduzir em 21%, até 2012, suas emissões de todos os seis importantes gases de efeito estufa. Caso um país não consiga cumprir ou deseje rever os compromissos estabelecidos, nesse primeiro período de compromisso, um novo sistema de negociações será estabelecido (MACIEL *et al.*, 2009).

O protocolo de Quioto determina que cada país tem uma meta a ser alcançada para a redução de gases de efeito estufa. Tal meta deve ser cumprida pelos países que, historicamente, mais emitiram gases de efeito estufa, que foram os países desenvolvidos, conforme poder ser verificado na TABELA 2.

Parte Anexo I	Emissões de CO ₂	Participação percentual (%) sobre	
		Total Anexo I	Total Global
Estados Unidos	4.819.166.00	34,5	21,62
Rússia	3.708.734.33	26,55	16,64
Japão	1.071.444.00	7,67	4,81
Alemanha	1.012.443.00	7,25	4,54
Reino Unido	563.647.33	4,04	2,53
Canadá	425.054.67	3,04	1,91
Itália	399.142.33	2,86	1,79
Polônia	347.838.33	2,49	1,56
Austrália	266.203.67	1,91	1,19
Outros	1.354.931.67	9,7	6,08
Total Anexo I	13.968.605.33	100	62,66
Total Não - Anexo I	8.322.908.00	-	37,34
TOTAL	22.291.513.33	-	100

TABELA 2 - MAIORES EMISSORES DE CO₂ EM 1990 (X 1000 TON. DE CO₂)
 FONTE: BRASIL ENERGIA (2002), *apud* LIMIRO (2009).

Como destaca Calsing (2005) uma das grandes inovações do Protocolo foi justamente definir metas próprias para cada país e vincular o cumprimento dessas normas com medidas sancionatórias, fazendo assim com que a Convenção ganhe em eficácia e efetividade.

O Protocolo de Quioto possui três instrumentos conhecidos coletivamente como “mecanismos de flexibilização”, destinados a facilitar o cumprimento das metas de redução da Convenção do Clima, sendo eles: Implementação Conjunta; Comércio de Emissões; Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (UNFCCC, 1997).

A Implementação Conjunta (IC) - *Joint Implementation* é definida pelo artigo 6º do Protocolo de Quioto. Esse tipo de mecanismo de flexibilização pode ser implantado unicamente pelos países desenvolvidos e relacionados no Anexo I da Convenção-Quadro. Consiste na possibilidade de uma Parte Anexo I financiar projetos em outras Partes Anexo I como forma de cumprir seus compromissos de redução de emissões de gases de efeito estufa. Isso ocorre em razão de os projetos de Implementação Conjunta gerarem Unidades de Redução de Emissões (URES) (LIMIRO, 2009).

A unidade de Redução de Emissão (URE) (*Emission Reduction Unit- ERU*) é segundo Lopes (2002), unidade expressa em toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente, sendo uma unidade igual a uma tonelada de gases de efeito estufa. A transformação para dióxido de carbono equivalente deve ser feita com base no Potencial de Aquecimento Global. Posteriormente, poderão ser as RCEs

utilizadas pelo país financiador para adicionar à sua quota de emissões, sendo deduzidas das quotas de emissão do país beneficiado (LIMIRO, 2009).

O Comércio de Emissões (CE) - *Emission Trading* é definido pelo Artigo 17 do Protocolo de Quioto e determina que os países do Anexo I podem transferir entre si partes de suas quantidades designadas de emissões de GEE. Sob este mecanismo, os países que emitirem menos, que o autorizado pelo Protocolo poderá vender suas cotas excedentes.

A unidade aplicável a esse mecanismo é a Unidade de Quantidade Atribuída (UQA), segundo Lopes (2002), essa unidade é expressa em toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente, sendo uma unidade igual a uma tonelada de gases de efeito estufa. A transformação para dióxido de carbono equivalente deve ser feita com base no Potencial de Aquecimento Global. As UQAs podem ser utilizadas por Partes Anexo I como forma de cumprimento parcial de suas metas de redução de emissão de gases de efeito estufa ou transferidas parcialmente para o segundo período.

A quantidade atribuída a cada Parte Anexo I é igual ao potencial constante no Anexo B do protocolo de suas emissões antrópicas equivalentes em CO₂ dos gases de efeito estufa listados no Anexo A em 1990 (ou no ano ou no período base diferente determinado para as economias em transformação), multiplicado por 5 (LOPES, 2002).

O propósito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) - *Clean Development Mechanism* é prestar assistência às Partes Não Anexo I da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), para que viabilizem o desenvolvimento sustentável por meio da implementação da respectiva atividade do projeto e contribuam para o objetivo final da Convenção e, por outro lado, facilitar às Partes Anexo 1 para que cumpram seus compromissos quantificados de redução de emissões de GEE (LOPES, 2002).

Em resumo, a idéia do MDL consiste em que cada tonelada métrica de CO₂ retirada ou deixada de ser emitida, por um país em desenvolvimento, poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para a redução das emissões globais. Os países do Anexo 1 estabelecerão em seus territórios metas para redução de CO₂ junto aos principais emissores. As empresas que não conseguirem (ou não desejarem) reduzir suas emissões poderão comprar

Certificados de Redução de Emissões (CRE) de países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações (ROCHA, 2003).

Conforme MCT (2009), o MDL é o único mecanismo de Quioto que permite a participação de partes não Anexo I, tais como o Brasil, e incentiva o fluxo de recursos e transferência de tecnologia das Partes do Anexo I para Partes não-Anexo I, sem comprometer a oportunidade legítima de crescimento econômico e bem-estar social dos países em desenvolvimento.

Campos (2001) cita que os projetos de MDL deverão sujeitar-se à autoridade e orientação da COP-MOP (Conferência das Partes- Reunião das Partes) e à supervisão de um conselho executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. As reduções de emissões resultantes de cada atividade de projeto deverão ser certificadas por entidades operacionais a serem designadas pela COP-MOP, desde que a participação seja voluntária e aprovada por cada Parte envolvida; os benefícios deverão ser reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima; e que as reduções de emissões deverão ser adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997).

O MDL é o único mecanismo de flexibilização que envolve atividades de projeto para países em desenvolvimento, sem compromisso de redução de emissões, como é o caso do Brasil.

2.3 FIXAÇÃO DE CARBONO NAS FLORESTAS

A capacidade das florestas de armazenar carbono durante o processo de produção de biomassa tem recebido atenção crescente, principalmente devido ao seu potencial para contribuir com a redução do “efeito estufa” (HOSOKAWA *et al.*, 1998). Para Rochadelli (2001), a substituição dos combustíveis fósseis extraídos do subsolo, pela biomassa acumulada nos vegetais em forma de carbono, será, em longo prazo, o meio mais efetivo para diminuir a emissão ou a quantidade de carbono na atmosfera.

O carbono é o elemento fundamental na constituição das moléculas orgânicas, e compõe quatro dos principais gases de efeito estufa: o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs). O carbono utilizado primariamente pelos seres vivos está presente no ambiente, combinado ao oxigênio e formando as moléculas de gás carbônico presentes na atmosfera ou dissolvidas nas águas dos mares, rios e lagos, e passa a fazer parte da biomassa através da fotossíntese (MIRANDA, 2008).

As florestas são importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global, pois armazenam em suas árvores e no solo mais carbono do que o existente atualmente na atmosfera. Se as florestas forem cortadas, a maior parte do carbono guardado nas árvores será liberada para a atmosfera rapidamente por meio de queimadas ou, mais lentamente, via decomposição (HOUGHTON, 1994).

A remoção do dióxido de carbono da atmosfera pelas florestas ocorre por meio da fotossíntese e sua liberação no processo de respiração, sendo parte deste carbono armazenado nos diversos componentes das plantas, conforme Simpson e Botkin citados por Caldeira *et al.* (2003). Martins (2004) cita que nas plantas o carbono entra e sai por difusão, na forma de CO₂, através dos estômatos presentes na epiderme das folhas. Entrando, o CO₂ vai servir como matéria-prima de compostos orgânicos, durante a fotossíntese. Na qual, o CO₂ é um dos produtos finais da respiração. Já os animais realizam apenas a respiração, liberando o CO₂ na atmosfera, e obtêm o carbono de que precisam de forma direta, se herbívoros, ou de forma indireta se forem carnívoros.

A absorção de dióxido de carbono se dá, em parte, pelo período de tempo existente entre o crescimento acelerado das plantas e a morte e decomposição delas. Deste modo, as florestas são importantes para o equilíbrio do balanço global de gás carbônico, pois os diferentes tipos de florestas armazenam diferentes quantidades de carbono em função dos estágios de sucessão, da idade, do regime de manejo e da composição de espécies (WATZLAWICK *et al.*, 2004).

A fixação de carbono florestal se dá pelo acúmulo do carbono na fitomassa florestal e no solo, entretanto, os valores de carbono fixado pelas florestas podem variar enormemente de região para região, de acordo com a tipologia florestal, solos e manejos florestais (MIRANDA, 2008).

Segundo Man Yu (2004), a fixação de carbono corresponde diretamente ao crescimento das plantas, sendo que quanto maior o porte vegetal, maior a quantidade de carbono armazenado. Essa mesma autora comenta, que, dois terços do carbono do globo terrestre se encontram estocados nas florestas, incluindo o solo florestal devido a decomposição de matéria- prima acumulada durante séculos. Junto estocam um total de 3.260GtC.

Segundo Watzlawick *et al.*, (2004), os compostos de carbono constituem grande parte da biomassa da floresta, sendo por isso necessário desenvolver estudos quanto a métodos de quantificação, nos diversos componentes da planta, que possibilitem uma melhor compreensão do “sequestro” e “armazenamento” de carbono da atmosfera pelas florestas.

O sequestro de carbono somente ocorre enquanto as árvores e a floresta estão crescendo, tornando assim importante e atrativo a recuperação dos ecossistemas naturais em áreas degradadas, por meio da regeneração, adensamentos, aumentando consideravelmente a biomassa e conseqüentemente o estoque de carbono fixado. A implantação ou recuperação das mesmas possibilita oportunidade de negócios voltados ao desenvolvimento de projetos de conservação, preservação ou mesmo com a recuperação de áreas degradadas, tornando muitas vezes possível a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentado (WATZLAWICK *et al.*, 2002).

No que se refere à fixação de carbono, os reflorestamentos são alvos de grande interesse, devido a sua eficiência na captação e fixação de CO₂ (AMBIENTE BRASIL, 2005).

De acordo com Shumacher e Witschoreck (2004), a floresta é uma alternativa para a fixação de carbono, pois, pela atividade fotossintética, os vegetais acumulam carbono em sua estrutura orgânica.

2.4 BIOMASSA FLORESTAL

Pela fotossíntese as plantas capturam a energia do sol transformando-a em energia química. Esta energia pode ser convertida em eletricidade, combustível ou

calor. As fontes orgânicas que são usadas para produzir energia usando este processo são chamadas de *biomassa* (BROWN, 1997).

Por serem as florestas os maiores acumuladores de biomassa do planeta, a sociedade civil organizada e a mídia vem demandando dos profissionais que atuam na área florestal a geração de informações e conhecimentos que possam auxiliar na redução dos riscos ambientais que se colocam diante da espécie humana (SANQUETTA, 2002). Para este mesmo autor, um dos aspectos mais relevantes nos estudos de fixação de carbono em florestas é a variável biomassa, a qual precisa ser determinada e estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais.

Para Martinelli *et al.*, (1994), biomassa é a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta, sendo que os componentes de biomassa geralmente estimados são a biomassa viva horizontal acima do solo, composta de árvores e arbustos, a biomassa morta acima do solo, composta pela serapilheira e troncos caídos e a biomassa abaixo do solo, composta pelas raízes. A biomassa total é dada pela soma de todos estes componentes.

A biomassa florestal, conforme definição apresentada por Alemdag (1980) é a quantidade constituída por organismos no ecossistema florestal em termos de massa.

O termo biomassa florestal, conforme Sanquetta (2002), pode significar toda a biomassa existente na floresta ou apenas a fração arbórea da mesma, podendo-se também utilizar o termo fitomassa florestal ou fitomassa arbórea. Ao reportar-se sobre os diferentes métodos de determinação. O autor comenta ainda, que os métodos diretos, onde os procedimentos de campo utilizados nas determinações de biomassa de florestas podem variar amplamente, segundo os objetivos e as restrições técnicas e orçamentárias atinentes ao trabalho. Segundo o autor, os métodos indiretos não podem ser utilizados sem o ajuste e a calibragem prévia das equações, devendo ser empregados conjuntamente com os métodos diretos.

Segundo Caldeira (2003), o termo biomassa representa a matéria orgânica armazenada em um determinado ecossistema, pois especifica o valor numérico dos componentes presentes, além de ser fundamental nos estudos de ciclagem de nutrientes, conversão de energia, absorção e armazenamento de energia solar e também possibilita tirar conclusões para uma exploração racional dos ecossistemas.

Houghton (1994) comenta que tipos diferentes de floresta armazenam diferentes quantidades de carbono dentro de sua biomassa, e locais diferentes dentro de um mesmo tipo de floresta também variam muito com relação à quantidade de biomassa. Esta afirmação é feita em função da maioria das estimativas de biomassa ser feita apenas nas partes aéreas da planta, considerando-se somente as partes vivas da planta acima do solo. O autor sugere que adaptações devam ser feitas para as estimativas das árvores menores, da vegetação rasteira no solo e da vegetação viva abaixo do solo (raízes), devendo-se incluir também a vegetação morta, tanto acima como abaixo do solo, em pé ou caída.

Os métodos utilizados para determinação de biomassa variam de acordo com os objetivos e restrições de um determinado estudo. Há a pesagem quando nenhuma separação das partes da planta é realizada; a separação em diferentes frações de biomassa antes de realizar a pesagem e as técnicas de dissecação que procuram detalhar mais as frações da biomassa através de técnicas de secção, dissecação ou cortes em camadas (SANQUETTA E BALBINOT, 2004).

A quantificação de biomassa atua, paralelamente, com a estimativa de carbono fixado pelos vegetais, visto que na biomassa vegetal há presença de carbono (BALTEIRO E ROMERO, 2003). De acordo com Larcher (1986), as concentrações de carbono e de nutrientes minerais, principalmente componentes da biomassa, variam com a espécie, fase de desenvolvimento, estado nutricional, parte considerada do vegetal e condições edafoclimáticas.

Os vegetais possuem a capacidade de capturar e fixar carbono, que associado com outros elementos, resulta em substâncias complexas dentre as quais compostos celulósicos, principalmente madeira. As florestas se constituem num tipo exclusivo dentre os vegetais, porque possuem a capacidade de capturar e fixar carbono por décadas e armazená-lo na forma de produtos oriundos da madeira (DALLA CORTE, 2005).

O período de vida de uma árvore pode ser de décadas e até de séculos, embora, após a fase de maturidade, os incrementos geralmente sejam bem menores que aqueles verificados em fases anteriores. Então, é possível mencionar que árvores possuem a capacidade permanente de captura e fixação de carbono

enquanto vivas. Daí vem a importância de florestas como meio de armazenamento de carbono por períodos longos (MCT, 2002).

Para Higuchi e Carvalho Júnior (1994), os estudos para quantificação de biomassa florestal dividem-se em *métodos diretos* (ou determinação) e *métodos indiretos* (ou estimativas). *Determinação* significa uma medição real feita diretamente na biomassa, por exemplo, a pesagem de um fuste inteiro por meio de um dinamômetro ou uma balança. Todas as árvores de uma determinada parcela são derrubadas e pesadas, sendo feita em seguida a extrapolação da avaliação amostrada para a área total de interesse. A estimativa de biomassa aérea pelo método indireto consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil obtenção e que não requeira a destruição do material vegetal. As estimativas podem ser feitas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais (dap, altura e volume), por dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite) e utilizando-se uma base de dados em um sistema de informação geográfica (SIG).

No ano de 2003 o Painel Intergovernamental para Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*), elaborou o Guia de Boas Práticas para Uso do Solo, Mudança do Uso do Solo e Florestas, que definindo quais são os reservatórios que podem ser considerados para a quantificação da fixação de carbono, sendo eles: Biomassa Viva (acima e abaixo do solo); matéria orgânica morta (madeira morta; serapilheira) e matéria orgânica no solo (IPCC, 2003).

Biomassa acima do solo: toda a biomassa viva (expressa em toneladas de peso seco) acima do solo, incluindo galhos, troncos, tocos e folhas. Biomassa abaixo do solo: toda a biomassa viva de raízes. Raízes finas menores do que 2 mm de diâmetro (sugestão) são normalmente excluídas, pois frequentemente não podem ser discriminadas da matéria orgânica do solo ou serapilheira (liteira).

A matéria orgânica morta inclui toda a biomassa arbórea morta não incluída na serapilheira, em pé ou sobre o solo. Madeira morta inclui, madeira sobre a superfície, raízes mortas, e tocos de diâmetros maior ou igual a 10 cm, ou de qualquer outro diâmetro utilizado pelo país. Serapilheira (liteira ou lixeira): inclui toda a biomassa com diâmetro menor que o diâmetro mínimo utilizado pelo país para madeira morta caída, em vários estágios de decomposição, acima do solo mineral

ou orgânico. Inclui a serapilheira, e as camadas fúmicas e úmicas. Raízes finas vivas (com diâmetro menor do que o limite estabelecido para biomassa abaixo do solo) são incluídas na serapilheira quanto não são empiricamente discriminadas desta.

Matéria orgânica no solo: inclui carbono orgânico em solos minerais e orgânicos (incluindo turfa) até a profundidade especificada pelo país e aplicada consistentemente ao longo do tempo. Raízes finas vivas (com diâmetro menor do que o limite estabelecido para biomassa abaixo do solo) são incluídas na serapilheira quando não puderem ser empiricamente discriminadas desta.

2.5 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO POR MODELOS MATEMÁTICOS

Visando entender como se processam as emissões de carbono na atmosfera, Salomão *et al.* (1996) são de opinião que é necessário que se responda a seguinte questão: Qual é o estoque de carbono armazenado na biomassa de uma floresta? Assim, torna-se necessário desenvolver ou utilizar metodologias que possibilitem obter estimativas da quantidade deste elemento em uma floresta, ou mais especificamente, em diferentes partes de uma árvore. Estes autores ainda mencionaram que, para se proceder a avaliação dos teores de carbono dos diferentes componentes da vegetação (parte aérea, raízes, camadas decompostas sobre o solo, entre outros) e, por consequência, contribuir para estudos de balanço energético e do ciclo de carbono na atmosfera, é necessário, inicialmente, quantificar a biomassa vegetal de cada componente da vegetação.

Para analisar as condições fitossanitárias de um ecossistema, há a necessidade de se estudarem vários fatores de forma conjunta, pois todos estão inter-relacionados. A quantificação da variável *biomassa* é um importante método para esse fim, pois ela é uma consequência direta de todos os fatores bióticos e abióticos de um ecossistema florestal (BROWN, 1997).

Segundo Higuchi *et al.* (2006), a estimativa da biomassa é importante nas questões ligadas ao manejo florestal e ao clima. No manejo florestal, está relacionada com os estoques de macro e micronutrientes da vegetação, que são obtidos pelo produto da massa pelas concentrações de cada mineral. No caso do

clima, é usada para estimar os estoques de carbono, que, por sua vez, são utilizados para estimar a quantidade de CO₂ que é liberada na atmosfera durante o processo de queimadas.

Segundo Ketterings *et al.* (2001), a estimativa de biomassa acima do solo é imprescindível aos estudos do balanço global de carbono. Para Higuchi *et al.*, (1998), as estimativas de biomassa representam um importante indicador para monitorar e avaliar a exportação de nutrientes após exploração florestal, na busca de minimizar os impactos ambientais gerados por essa atividade.

A maior fração de biomassa em ecossistemas florestais compreende o caule ou o fuste das árvores (SOARES *et al.*, 2006). Segundo Barichello *et al.* (2005), a acumulação da biomassa é afetada por fatores ambientais e fatores da própria planta. Vogel *et al.* (2006), menciona que a estimativa da biomassa de uma floresta nativa pode variar muito com o tipo de floresta e local onde se encontra.

As metodologias usadas atualmente para se obterem estimativas de biomassa em áreas florestais são baseadas, principalmente, em dados de inventário florestal, empregando-se fatores e equações de biomassa, que transformam dados de diâmetro, altura ou volume em tais estimativas (SOMOGYI *et al.*, 2006).

A maioria dos estudos de biomassa florestal utiliza estimativas e não determinações, pois estes últimos não são possíveis em grandes extensões florestais (SANQUETTA E BALBINOT, 2004). O método indireto é preferencialmente utilizado porque facilita o trabalho de campo e diminui o custo de coleta de dados. Faz uso de modelos de regressão, lineares ou não lineares, cujas variáveis independentes são as características diretamente mensuráveis das árvores-amostra (diâmetro, altura, etc) e as variáveis dependentes, são representadas pelo peso de matéria seca dos componentes ou pela quantidade de carbono (SOARES *et al.*, 2006).

Lopera e Gutiérrez (2001) citados por Campos (2001), afirmam que para realizar projetos florestais de captura de CO₂ é necessário desenvolver metodologias que permitam medir e quantificar de maneira confiável e a baixo custo o carbono armazenado, mas também predizer seu comportamento em qualquer momento durante o crescimento da planta. Assim, quando a floresta ainda não é existente, projetar a curva de crescimento esperada, torna-se a base para negociação de créditos de carbono entre as partes interessadas. Em termos de planejamento na

definição dos locais mais aptos para efetivação de projetos de sequestro de carbono, sistemas de predição de produção que levem em consideração as condições ambientais locais como limitantes ao crescimento, constituem-se em ferramentas igualmente úteis.

Na maioria dos casos, é necessária uma amostragem destrutiva para a estimativa correta de biomassa. Normalmente, a biomassa arbórea é medida a partir de seus componentes. A separação e especificação desses componentes variam de acordo com o tipo de povoamento e os objetivos a serem alcançados. Essa variação pode incluir ou excluir alguns componentes específicos, tais como flores e frutos, ou detalhar outros, como raízes e ramos, subdividindo-os em raízes finas e raízes grossas, ramos com idades e espessuras diferentes (CAMPOS, 1991).

Na quantificação do carbono, o teor desse elemento tem sido considerado constante, variando pouco entre trabalhos apresentados por diferentes autores, para diferentes espécies, como na determinação do estoque de carbono na China que utilizam um fator linear de concentração de carbono de 0,45 (WANG *et al.*, 2001). E, aplicam um fator de conversão do volume em biomassa florestal para cada grupo florestal. Mencionam que a conversão do volume para biomassa é influenciada por fatores como a idade e a qualidade do sítio. Em consequência disso, dividiram os grupos florestais em cinco classes de idade e estimaram um fator de conversão individual para cada idade, porém encontraram variação nos resultados. Por isso, a estimativa do estoque total de carbono para os ecossistemas florestais da China não é feita a estratificação por idade. Constataram que o estoque de carbono representa cerca de 0,9 % do estoque global.

Embora, seja conhecido que, ao determinar-se a densidade de carbono, com base em dados obtidos em parcelas de investigação, pode ocorrer influência nos resultados, por causa da fertilidade, sítio, humano e outros fatores naturais e biológicos, o que numa larga variação da densidade de carbono, pode resultar numa superestimativa do estoque de carbono. Por isso, na China, são utilizados dados de inventários florestais para estimar o estoque de carbono das florestas, tanto em nível regional como nacional. O inventário florestal é preferível à maioria das outras fontes de informações para estimar do estoque de carbono, porque ele consegue abarcar com maior realidade as fontes de variação dos dados bases acerca do volume por

hectare em todos os tipos florestais em diferentes condições biológicas (FANG *et al.*, 1998).

As florestas têm papel importante no ciclo do carbono, pois são capazes de armazenar grandes quantidades de carbono em seus diferentes compartimentos (SOARES *et al.*, 2005). Entender a relação da diversidade de espécies arbóreas e estoque de carbono é essencial para manter estoques de carbono de florestas protegidas (KIRBY & POTRIN, 2007). Estimativa do teor de carbono para uma floresta a partir de modelos que quantifiquem o teor de carbono presente em uma floresta, por exemplo, tem se tornado uma necessidade, devido ao grande interesse com relação à captura de carbono pelas florestas (SOARES *et al.*, 2005).

Uma das maneiras de se estimar a biomassa e o carbono florestal é usando modelos matemáticos. Conforme Sanquetta (1996), um modelo é a representação física ou abstrata da forma ou função de entidades ou objetos reais, como por exemplo: equações matemáticas de processos fisiológicos, figuras ou estátuas. Segundo esse mesmo autor, os modelos possuem limitações. Um modelo biológico, por exemplo, não pode ser perfeito (certo ou errado), pode apenas ser uma representação bem feita ou não da realidade. Portanto, os modelos não são perfeitos, são apenas uma aproximação da realidade, mas exercem um papel muito importante no ramo das ciências exatas e naturais pois permitem realizar previsões presentes e futuras da situação de um elemento ou grupo de elementos mensuráveis.

Crow e Schlaegel (1988) afirmaram que equações de biomassa podem ter muitas formas, sendo que as mais comumente utilizadas são as do tipo linear e não linear. A escolha de uma destas formas ocorre em função da experiência em sua utilização, da relação entre as variáveis ou pela recomendação da literatura.

2.6 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Classificada como uma das principais tipologias florestais do Brasil, a Floresta Ombrófila Mista (FOM), também amplamente conhecida como Floresta com Araucária, deve ser foco de maior atenção quanto à reparação e conservação de

sua dinâmica estrutural, em detrimento de todas as ações até hoje realizadas em torno de suas inúmeras riquezas que culminaram com a descaracterização em diversos níveis, ameaçando seriamente sua continuidade (SANTOS, 2008).

A Floresta com Araucária recebe denominações diversas, tais como Floresta de Pinheiros, Pinhais, Pinheirais, Floresta com Araucária, entre outros (BRITZ et al., 1995, citado por FUPEF, 2004). Segundo o mesmo autor, recentemente a terminologia proposta pelo IBGE, a designou como Floresta Ombrófila Mista, onde o termo ombrófila significa alta pluviosidade e mista está relacionado à mistura de floras.

Ela abriga uma das poucas coníferas de ocorrência subtropical no hemisfério Sul do continente americano: a araucária brasileira. Por sua beleza e singularidade, a araucária tem atraído a atenção de muitos estudiosos. A floresta com araucária não abriga apenas a sua espécie típica, mas muitas outras que formam comunidades interativas e diferenciadas em florística, estrutura e organização ecológica. Existe muita riqueza na floresta com araucária, seja nos seus componentes arbóreos, no sub-dossel ou nas copas que formam dosséis irregulares. Ali a biodiversidade atinge níveis elevados, apesar de sua aparente simplicidade estrutural (SANQUETTA, 2005).

De acordo com Carvalho (1994), citado nos estudos de Fupef (2002), a FOM ocorrente no Brasil, originalmente estendia-se em uma superfície de aproximadamente 200.000 km², ocorrendo nos Estados do Paraná (40% de sua superfície), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%) e em manchas isoladas no sul de São Paulo (3%), internando-se até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%). A área de abrangência da FOM, oficialmente está enquadrada no Mapa de Biomas do Brasil e definida pelo governo brasileiro (MMA e IBGE, 2004), está descrita, conforme mostra a FIGURA 2.



FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO ESTADO DO PARANÁ
 FONTE: (MMA E IBGE, 2004).

As espécies importantes que ocorrem em constantes associações com *Araucária angustifolia* são: *Matayba elaeagnoides* Radlk. (camboatá-branco), *Cupania vernalis* Cambess (camboatá-vermelho), *Prunus sellowii* Koehne (pessegueiro-bravo), *Capsicodendron dinisii* (Schwacke) Occhioni (pimenteira), *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (guarirobeira), *Eugenia uniflora* L. (pitangueira), *Nectandra spp.* (canelas), *Ocotea spp.* (canelas), entre outras (REITZ; KLEIN, 1966).

A FOM está circunscrita a uma região de clima pluvial subtropical, ocorrendo abaixo do Trópico de Capricórnio, em altitudes que vão de 500 a 1200m acima do nível do mar (FUPEF, 2004).

A composição florística deste tipo de vegetação, caracterizado por gêneros primitivos como *Drymis* e *Araucária* (Australásicos) e *Podocarpus* (Afro-Asiáticos), sugere, em face da altitude e da latitude do Planalto Meridional, uma ocupação recente, a partir de refúgios alto-montanos, apresentados em quatro formações diferentes, ou seja: aluvial, submontana, montana e alto-montana (IBGE, 1992).

Atualmente, devido a grande exploração dos produtos florestais que ocorreram no passado, a FOM apresenta remanescentes primários (floresta em

estágio avançado de sucessão) que não somam nem 1% da área ocupada originalmente no Estado do Paraná (FUPEF-CNPq, 2001).

Com o processo de ocupação do território brasileiro, caracterizado pela falta de planejamento, houve destruição de muitos recursos naturais, particularmente de florestas nativas, e entre elas a de FOM, que foi reduzida a fragmentos alterados e descaracterizados antes mesmo de ser adequadamente conhecida (SCHAAF *et al.*, 2006).

A situação é problemática porque os proprietários sentem obrigados a preservar suas florestas, mesmo aquelas em estágios inicial e médio. Os produtores rurais estão totalmente desestimulados pela obrigação legal de preservar as florestas excedentes às APPs (Áreas de Preservação Permanente) sem poder manejá-las, gerando um passivo social e econômico muito grande em toda a região. Isso tem induzido a ilegalidade no corte da araucária e outras espécies consideradas ameaçadas de extinção (SANQUETTA e MATTEI, 2006).

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DA ESPÉCIE

3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado na Estação Experimental da Universidade Federal do Paraná no município de São João do Triunfo, que se localiza na região centro-sul do Estado do Paraná. A altitude do local é de 780 m, a latitude Sul de 25°34'18" e a longitude Oeste de 50°05'56" (PIZATTO, 1999).

Segundo a classificação de Koeppen, o clima da região é tipo Cfb (LONGHI, 1980; RODRÍGUEZ TELLO, 1980; PIZATTO, 1999; DURIGAN, 1999), caracterizado por ser mesotérmico sempre úmido e com verões brandos. O clima é típico do planalto meridional brasileiro, com temperaturas médias anuais entre 14 e 19 °C e precipitação anual entre 1.250 e 2.000 mm. Dados climáticos médios obtidos das estações meteorológicas do IAPAR nos municípios da Lapa, Fernandes Pinheiro e Ponta Grossa, próximos à área de estudo (adaptado de DURIGAN, 1999), indicam temperatura média anual de 17,4°C, umidade relativa média anual de 80,1%, precipitação média anual de 1.615 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso e agosto, o mais seco.

Durigan (1999), por meio de prospecções realizadas também nessa Estação Experimental, identificou a ocorrência de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, além de Cambissolos (Cambissolo gleico, nas cotas mais baixas) e Neossolos Litólicos.

Baseando-se na classificação proposta pelo IBGE (1992), a fitofisionomia ocorrente na área é a Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária, onde predominam como espécies arbóreas o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), a erva-mate (*Ilex paraguariensis*), a imbuia (*Ocotea porosa*), a bracatinga (*Mimosa scabrella*), as canelas (*Ocotea* e *Nectandra*, principalmente) e várias espécies da família Myrtaceae.

Apesar de não ter sofrido corte raso, a floresta em questão já foi alterada por extração de madeira. Isso permite enquadrá-la como uma vegetação primária alterada ou formação secundária avançada, visto que possui algumas características

estruturais de formações primárias associadas a intervenções antrópicas que caracterizam formações secundárias (SCHAAF, 2001).

3.2. DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE

A espécie estudada tem a seguinte nomenclatura botânica:

***Nectandra grandiflora* Nees**

Classe: Magnoliopsida

Ordem: Laurales

Família: Lauraceae

Nome popular: canela-amarela

3.2.1 Descrição Botânica

A espécie em questão caracteriza-se como árvore perenifólia, de aproximadamente 10 a 15 m de altura, com tronco ereto, mais ou menos cilíndrico, com cerca de 40 a 70 cm de diâmetro (LORENZI, 1998). Apresenta casca escura e ampla copa globosa; as folhas, casca, madeira e demais partes vegetais apresentam odor característico. As folhas são simples, alternas, coriáceas, com pecíolo de 0,5 a 1 cm de comprimento, são nitidamente oblongas e muito discoloradas (MARCHIORI, 1997). As folhas são geralmente glabras em ambas as faces, de 5 a 15 cm de comprimento por 2 a 6 cm de largura. Inflorescências em panículas axilares e terminais, glabras e glaucas, contendo muitas flores de cor branca e extremamente perfumadas. Os frutos são do tipo baga elipsóide, glabra, de 15 a 20 mm de comprimento, com polpa carnosa e de coloração preta quando madura (LORENZI, 1998). Sementes

de formato elíptico e de coloração parda, com aproximadamente 1 a 2 cm de comprimento por 0,5 a 1 cm de largura.

3.2.2 Distribuição e Ocorrência

Ocorre nos estados de Minas Gerais ao Rio Grande do Sul, em matas ciliares, capoeiras e na mata de pinhais, em altitudes compreendidas entre 600 e 1300m. É particularmente frequente no Segundo Planalto paranaense (LORENZI, 1998). Esta espécie participa da composição florística da Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual (MARCHIORI, 1997).

3.2.3 Aspectos Ecológicos

Planta heliófita até ciófito, aparentemente indiferente quanto às condições de umidade do solo, é secundária e apresenta dispersão descontínua e irregular (LORENZI, 1998). Conforme Sanquetta *et al.* (2002), *Nectandra grandiflora* encontra-se na sua maioria no estrato formado por plantas com até 23 m de altura, apresentando alguns poucos indivíduos no estrato que varia entre 23 e 27 m.

3.2.4 Usos Econômicos

A madeira da espécie estudada é indicada para obras internas, em carpintaria, como vigamentos, caibros, ripas, batentes de portas, forros, entre outros. Pode ser utilizada na arborização urbana devido à sua copa ornamental. Os frutos são avidamente consumidos por pássaros (LORENZI, 1998).

Essa espécie tem chamado a atenção pelo forte odor, evidenciando substâncias importantes para a utilização na indústria farmacêutica (RIBEIRO,

2002). Nesse contexto, percebe-se a importância de aplicação de metodologias que possibilitem a geração de estimativas confiáveis da biomassa da planta, no intuito de gerar quantitativos que possam ser empregados com vistas ao fornecimento de matéria-prima para a indústria (VIEIRA *et al*, 2010).

4. CAPÍTULO 1 – QUANTIFICAÇÃO E MODELAGEM DA BIOMASSA VIVA

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1.1 Planejamento da amostragem

O planejamento da amostragem constituiu-se na seleção das árvores a serem abatidas para o fito deste trabalho. Nesse sentido, para garantir a representatividade nos exemplares selecionados, foi realizada uma distribuição diamétrica em classes, mediante a análise do inventário florestal contínuo mantido pelo programa PELD *Site* 9, financiado pelo CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e executado pela Universidade Federal do Paraná. De acordo com Machado e Figueiredo (2003), a distribuição diamétrica caracteriza um tipo florestal, ou um estoque em desenvolvimento, servindo como base no planejamento da exploração de madeira e para tomadas de decisões quanto ao manejo florestal. Após a análise da distribuição diamétrica de *Nectandra grandiflora*, escolheu-se 30 árvores dentro de todas as classes diamétricas (FIGURA 3). Esse número de árvores foi decidido conforme as recomendações de Draper e Smith (1998).

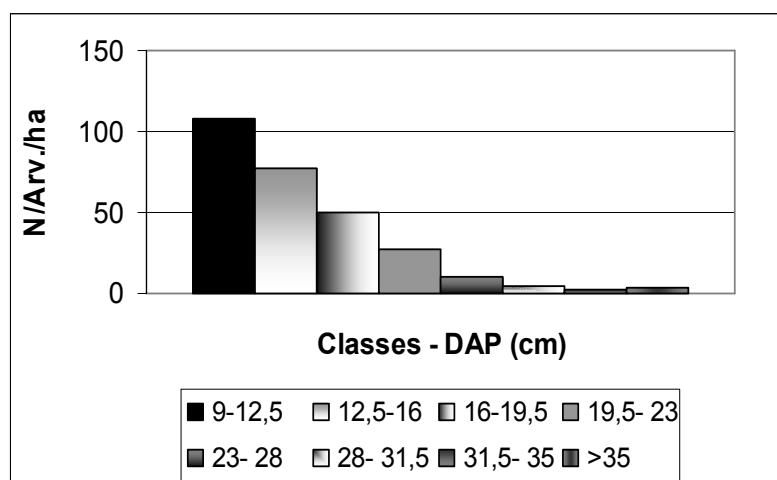


FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE *Nectandra grandiflora* NA REGIÃO DE SÃO JOÃO DO TRIUNFO PR.

A distribuição diamétrica da espécie em estudo é característica de muitos táxons da Floresta Ombrófila Mista, ou seja, possui a configuração de “J invertido”, evidenciando que tais espécies nessa comunidade encontram-se em estado de crescimento e com regeneração contínua, e que árvores de maiores diâmetros compõem a minoria. De fato, essa característica ecológica da espécie na comunidade justifica a importância desse trabalho, principalmente no que tange à fixação de carbono e a ciclagem de nutrientes em termos de biomassa estocada.

4.1.2 Variáveis Dendrométricas Medidas nas Árvores-Amostra

Após a escolha dos indivíduos, procedeu-se à mensuração de suas variáveis dendrométricas. A primeira variável foi a circunferência à altura do peito (CAP), medida com auxílio de uma fita métrica. Posteriormente, estimou-se o diâmetro de copa, em função da média de duas medidas transversais da copa. Após esse procedimento, a árvore foi abatida com motosserra e a altura total determinada com uso de uma trena.

A metodologia usada para determinar a biomassa vegetal é a mesma recomendada por Sanquetta (2002). Essa metodologia consiste em abater a árvore e pesar a biomassa parte a parte, ou seja, biomassa do fuste, biomassa dos galhos, biomassa da folhagem e biomassa das raízes. Após o abate da árvore, cada fração da mesma foi separada e pesada com uma balança de pêndulo (mecânica), com precisão de 500 g.

4.1.3 Determinação da Biomassa Verde

A metodologia para a determinação da biomassa foi a destrutiva (FIGURA 4). Nesse procedimento, após a derrubada da árvore, toda a biomassa foi separada por compartimentos (fuste, galho, folhagem e raízes) (FIGURA 5) e pesada individualmente com sua umidade natural, empregando-se uma balança mecânica

de pêndulo, com precisão de 500 gramas (FIGURA 6). Para a determinação da biomassa subterrânea, abriu-se uma trincheira até o limite do diâmetro de copa para o recolhimento de toda a massa de raízes, considerando um limite de 2 mm de espessura, abaixo do qual foram desprezadas as raízes mais finas.



4.1.4 Determinação da Biomassa Seca

As amostras foram secadas em estufa com renovação de ar (ventilação forçada), na temperatura de 70 °C, por aproximadamente 15 dias. A biomassa seca foi estimada a partir da multiplicação da biomassa verde por 100 menos o teor de umidade de cada amostra e cada respectivo compartimento. Feito isso, obteve-se o peso seco de cada fração da biomassa das 30 árvores.

4.1.5 Estimativa do Teor de Umidade

A estimativa do teor de umidade de cada amostra foi realizada em base seca mediante as pesagens de amostras verdes e secas. O teor de umidade foi obtido mediante a seguinte equação:

$$TU\% = \left(\frac{PS - PV}{PS} \right) * 100$$

Onde: TU = teor de umidade (%);

PS = peso seco (kg);

PV = peso verde (kg).

4.1.6 Matriz de Correlação das Variáveis de Biomassa Seca

A matriz de correlação é expressa pelo coeficiente de correlação de Pearson. Esse coeficiente serve para conhecer o grau de associações entre a variável dependente com variáveis independentes.

Neste estudo procedeu-se o cálculo das correlações simples entre as variáveis de biomassa seca das 30 árvores-amostra, avaliando-se a associação entre elas, procurando-se identificar aquelas mais importantes em termos de modelagem, ou seja, elegendo-se as variáveis dependentes e independentes que possuem relação empírica utilizável para estimativa do estoque individual de biomassa e de carbono na espécie alvo de interesse.

4.1.7 Ajuste das Equações de Biomassa

Após a planificação dos dados referentes à biomassa, foram selecionados 13 modelos reportados na literatura. Os modelos têm por objetivos estimar valores da biomassa seca total (variável dependente) em função de variáveis independentes de fácil obtenção como diâmetro, altura e diâmetro de copa. Na TABELA 3, estão apresentado os modelos testados para a estimativa da biomassa seca total de *Nectandra grandiflora*.

Modelo	Formulação Matemática
1	$PS = \beta_0 + \beta_1 * DAP$
2	$PS = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2$
3	$PS = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * HT$
4	$PS = \beta_0 + \beta_1 * DC + \beta_2 * DC * HT^2$
5	$PS = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * HT + \beta_3 * DC$
6	$PS = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DC$
7	$PS = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 * HT$
8	$PS = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \beta_3 * DAP^2 * HT$
9	$PS = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * DC$
10	$\ln PS = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP$
11	$\ln PS = \beta_0 + \beta_1 * \ln DC$
12	$\ln PS = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * \ln HT$
13	$\ln PS = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP^2 * HT$

TABELA 3 - MODELOS TESTADOS PARA ESTIMAR A BIOMASSA SECA TOTAL DE *Nectandra grandiflora*

ONDE: PS = PESO SECO TOTAL (KG); LN = LOGARITMO NATURAL; DAP = DIÂMETRO ALTURA DO PEITO (CM); HT = ALTURA TOTAL (M); DC = DIÂMETRO DE COPA (M); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e β_3 = COEFICIENTES AJUSTADOS.

A seleção do melhor modelo foi baseado nos indicadores de qualidade ajuste coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa e análise gráfica do resíduo.

O coeficiente de determinação indica o quanto a variável dependente é explicada pelas variáveis independentes no ajuste da equação e o erro padrão da estimativa indica o quanto, em média, a equação ajustada apresenta estimativa distinta do valor real correspondente. Também foi realizada a análise gráfica dos resíduos visando identificar em quais classes diamétricas os modelos subestimam ou superestimam os valores da variável dependente e averiguar prováveis tendências ou ocorrências de vies. O ajuste dos modelos foi realizado no *software Statgraphics 4.1*, utilizando regressão linear pelo método dos mínimos quadrados.

Visando à comparação com modelos com diferentes números de variáveis, utilizou-se o coeficiente de determinação ajustado. Segundo Urbano (2007), o coeficiente de determinação ajustado pondera o R^2 pelos graus de liberdade da regressão (numerador) e dos graus de liberdade totais (denominador) em função da seguinte equação:

$$R^2_{ajustado} = 1 - (1 - R^2) * \frac{n - 1}{n - p}$$

onde:

p = número de coeficientes;

n = número de observações.

O erro padrão da estimativa indica o erro médio quando utiliza-se a equação para a realização das estimativas e tem a seguinte expressão:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n - p)}}$$

onde:

y_i = valor real de cada observação;

\hat{y}_i = valor estimado de cada observação;

n = número de observações;

p = número de coeficientes de cada equação.

Para calcular o erro padrão da estimativa em porcentagem utilizou-se a seguinte equação:

$$S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{y} * 100$$

Para comparar modelos aritméticos com modelos logaritmos foi necessário corrigir os valores estimados em função da discrepância logarítmica. MEYER (citado em FIGUEIREDO, 1983) afirma que a aplicação de equações logarítmicas para estimativas resultam em erro sistemático definidos como discrepância logarítmica. Essa discrepância ocorre quando obtem-se o antilogarítmico da variável dependente estimada pela regressão. Para corrigir a discrepância, foi necessário multiplicar os valores estimados pelo fator de correção de Meyer indicado abaixo:

$$\text{Fator de correção de Meyer} = e^{0,5(S_{yx})}$$

onde:

$e = 2,7182$;

Syx = erro padrão da estimativa absoluto.

Ainda realizou-se a análise de resíduos, mediante a seguinte equação:

$$r\% = \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right) * 100$$

onde:

y_i = valor real de cada observação

\hat{y}_i = valor estimado de cada observação

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.2.1 Variação da Biomassa Seca Média em cada Compartimento em Função das classes de *DAP*

Os gráficos da FIGURA 7 mostram que na primeira, quinta, sexta e sétima classe a estocagem da biomassa segue o seguinte padrão quantitativo: fuste > galho > raiz > galho seco > folhagem. Na segunda, terceira e quarta classes a estocagem da biomassa seca segue o seguinte padrão: fuste > galho vivo > raiz > folhagem > galho seco. A variação da biomassa de galho seco e folhagem entre as classes diamétricas foi bastante pequena, não revelando padrão de distribuição nesses grupos.

Percebe-se que à medida que algum componente da árvore sofre aumento em algum componente morfológico, toda estrutura é afetada dimensionalmente. Esse fato vem ao encontro das teorias alométricas de crescimento, que relacionam o tamanho e formato das variáveis biológicas que compõem os seres vivos. Para Kramer e Kozlowski (1972), citados em Hoppe *et al.* (2006), essas diferenças na acumulação de biomassa são influenciadas por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração. Segundo esses autores, os principais fatores são luz, temperatura, concentração de CO₂ do ar, umidade e fertilidade do solo e doenças, além dos fatores internos, como: idade, estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos, teor de clorofila, e acumulação de hidratos de carbono.

Segundo Silveira (2010), a variação dos valores da variável fator de expansão de biomassa entre as classes de DAP não obedece a um padrão de variação, uma vez que essa variável é influenciada não só pela biomassa e volume comercial como também pela densidade básica da madeira. Esse mesmo autor, conclui que, A estimativa em que é utilizado o fator de expansão médio, apesar de não ser tão específico em sua utilização quanto o fator por espécie e por classes de DAP, apresenta melhores resultados quando se compara com as estimativas realizadas por modelos de regressão.

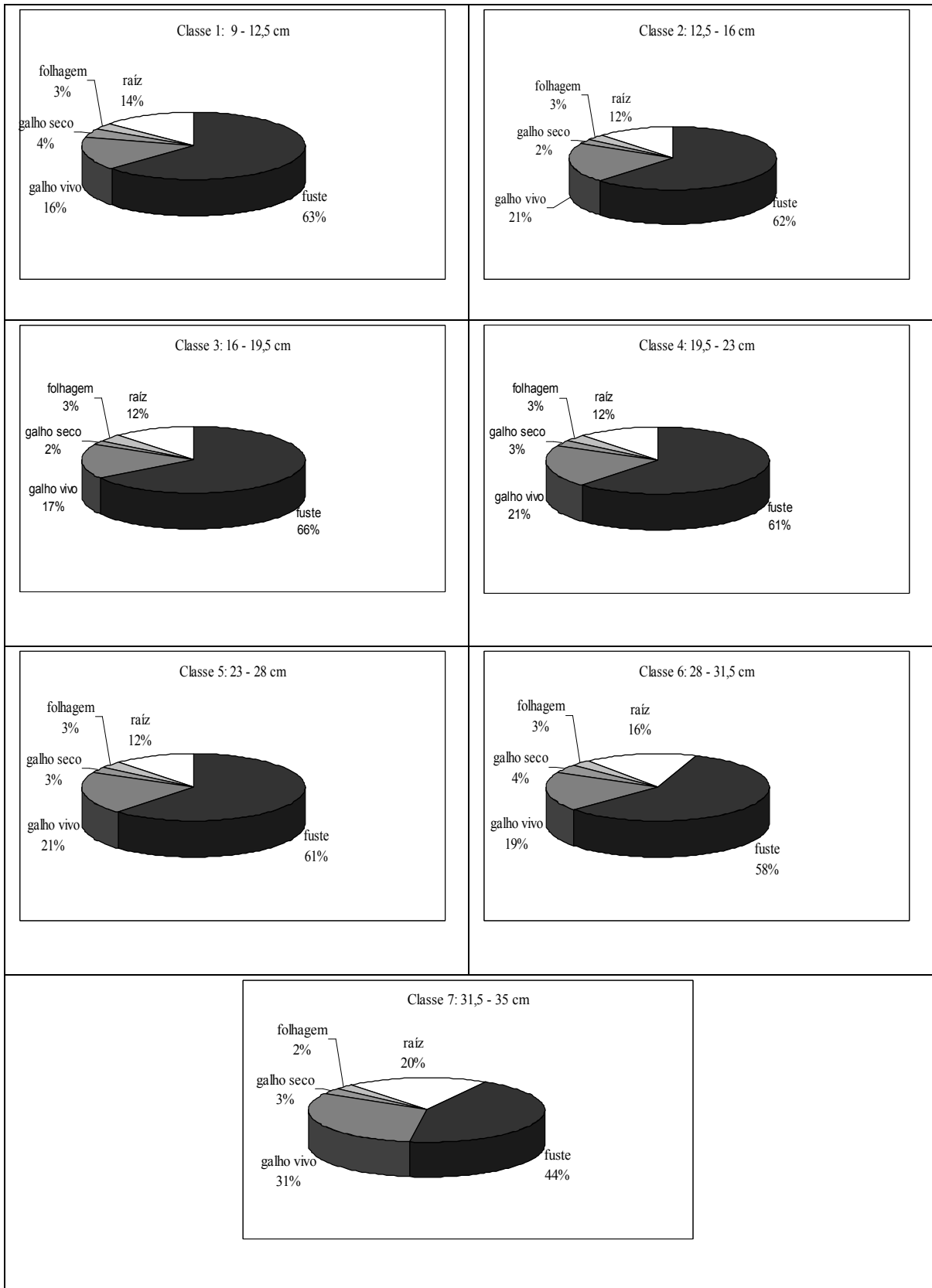


FIGURA 7 - VARIAÇÃO DA BIOMASSA SECA MÉDIA EM CADA COMPARTIMENTO EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE DAP (CM)

Em termos percentuais, a biomassa seca se distribuiu nas plantas da seguinte forma: cerca de 59% no fuste, 24% nos galhos, 14% nas raízes e 3% na folhagem, conforme pode ser visto na Figura 8.

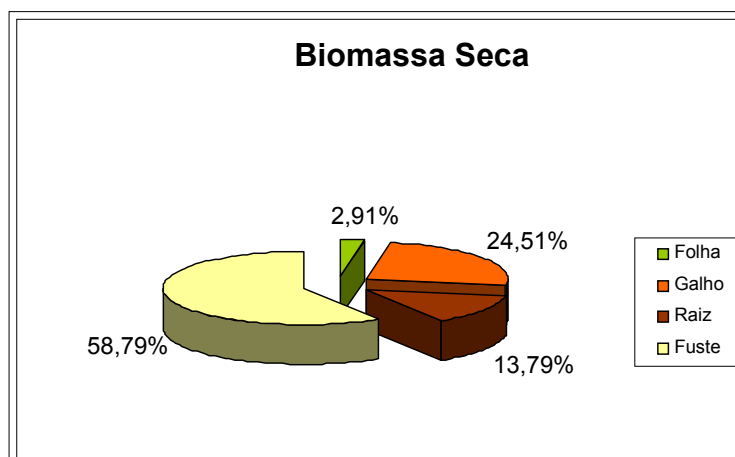


FIGURA 8 - PROPORÇÃO DE BIOMASSA SECA EM 30 ÁRVORES DE *Nectandra grandiflora* NEES.

Alves (2007), ao quantificar a biomassa em clones de eucaliptos com aproximadamente 4 anos, encontrou para os compartimentos os seguintes percentuais: galhos (11,05%), folhagem (7,44%), casca (7,90%) e fuste (61,61%). Watzlawick (2003), em uma Floresta Ombrófila Mista Montana, em General Carneiro, estado do Paraná, encontrou na biomassa seca os seguintes percentuais: fuste (50,52%), galhos vivos (45,01%), galhos mortos (1,16%), folhagem (2,40%) e miscelânea (0,97%). Já Urbano (2007), estudando bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba, encontrou valores para biomassa seca de 69,82% para fuste, 11,51% para galhos inferiores a 4 cm de diâmetro, 9,28% para galhos superiores a 4 cm, 5,57% para as folhas e 3,83% para os galhos mortos. Para *Nectandra grandiflora* não existem referências a respeito da distribuição da biomassa seca, porém a maior parte dela concentrou-se no fuste, com 52,11%, coincidindo, de forma geral, com a literatura que indica que nas espécies florestais a maior fração da biomassa encontra-se no caule. Folhagem, galhos e raízes vêm em seguida, dependendo da espécie e de sua arquitetura. No caso de *Nectandra grandiflora*, a segunda maior fração de biomassa seca foi nos galhos, pois trata-se de uma espécie com ramificação simpodial e presença de densa galhada.

Percebeu-se um valor baixo para biomassa seca da folhagem na espécie estudada, como nos trabalhos de Watzlawick (2003) e Urbano (2007).

4.2.2 Matriz de Correlação

Os resultados da matriz de correlação (TABELA 4) mostram que o diâmetro à altura do peito (*DAP*) possui alta correlação com o diâmetro de copa (*DC*) e com a altura total (*HT*), ou seja, 0,88 e 0,77, respectivamente. Relações alométricas envolvendo o *DAP* são bastante intensas em todos os compartimentos da biomassa, podendo chegar até 0,95 (fuste). No caso da altura total, percebe-se uma correlação com o diâmetro de copa na ordem de 0,88. A altura total possui uma correlação com os galhos secos da ordem de 0,50 e com o fuste, esse valor chega a 0,76. A maior correlação do diâmetro de copa é com o compartimento fuste (0,82) e a menor é com o compartimento galho seco (0,67). O compartimento folhagem possui uma relação alométrica alta com os demais compartimentos da árvore, podendo, essa correlação, chegar até 0,88 (raiz). As raízes possuem alta correlação com todos os demais compartimentos, podendo ser essa correlação de até 0,97 (galhos vivos). Os galhos vivos possuem uma correlação com o fuste de 0,89 e com os galhos secos de 0,82. Os galhos secos possuem uma correlação de 0,83 com o fuste. A alta correlação dos galhos vivos com a raiz é explicada pela dinâmica do crescimento da espécie, ou seja, no momento que a biomassa aérea (copa) sofre aumento gradual em sua biomassa, as raízes (biomassa subterrânea) precisam aumentar seu peso para garantir suporte à arquitetura da espécie.

Variável	DAP (cm)	HT (m)	DC (m)	Biomassa seca (kg)				
				Folhagem	Raízes	Galhos Vivos	Galhos Secos	Fuste
DAP	1							
HT	0,77	1						
DC	0,88	0,78	1					
Folhagem	0,87	0,66	0,80	1				
Raízes	0,84	0,55	0,70	0,88	1			
Galhos Vivos	0,85	0,57	0,73	0,87	0,97	1		
Galhos Secos	0,79	0,50	0,67	0,72	0,83	0,82	1	
Fuste	0,95	0,76	0,82	0,85	0,89	0,89	0,83	1

TABELA 4 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA SECA E DEMAIS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE *Nectandra grandiflora* NEES.

4.2.3 Ajustes para a Folhagem

A TABELA 5 apresenta as equações resultantes dos ajustes realizados para o compartimento folhagem, mostrando que o coeficiente de determinação oscilou de 63% até 79%. O erro padrão da estimativa foi alto, da ordem de 45 a 60%, revelando o nível baixo de precisão nas estimativas de biomassa foliar com todos os modelos. Isso se deve à irregularidade na arquitetura das copas dessa espécie, ou seja, existe uma grande heterogeneidade na biomassa foliar entre árvores de porte semelhante.

Equação	R ² %	S _{yx} %
(1) ps folhagem = -3,59492 + 0,398888* dap	75,83	49,12
(2) ps folhagem = -1,67197 + 0,199975*dap + 0,000313321*dap ² *ht	76,38	48,57
(3) ps folhagem = -0,731138 + 0,117556*dap+ 0,000904894*dap ² *dc	78,97	45,83
(4) ps folhagem = -6,13719 + 1,65591*dc	63,36	60,49
(5) ln ps folhagem = -6,05529 + 2,45023*ln dap	71,46	52,19
(6) ln ps folhagem = -6,29244 + 1,98803*ln dap+ 0,187917*ln dap ² *ht	72,44	53,22
(7) ln ps folhagem = -6, 67669 + 0, 0132837*dap + 0, 889176* ln dap ² *ht	70,72	53,83

TABELA 5 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO PESO SECO DA FOLHAGEM EM *Nectandra grandiflora* NEES

De acordo com a FIGURA 9 pode-se observar que o modelo (1) foi o que apresentou a melhor distribuição gráfica de resíduos e resultou também em valores

próximos do modelo (3), que apresentou os valores de R^2 e de erro padrão da estimativa razoáveis. Assim, pode-se afirmar que as estimativas parciais de biomassa foliar são modestas, considerando as variáveis independentes utilizadas no estudo. Recomenda-se o modelo (3) como o mais adequado, embora o modelo (1) também apresente resultados similares e seja de mais fácil aplicação por utilizar apenas o DAP.

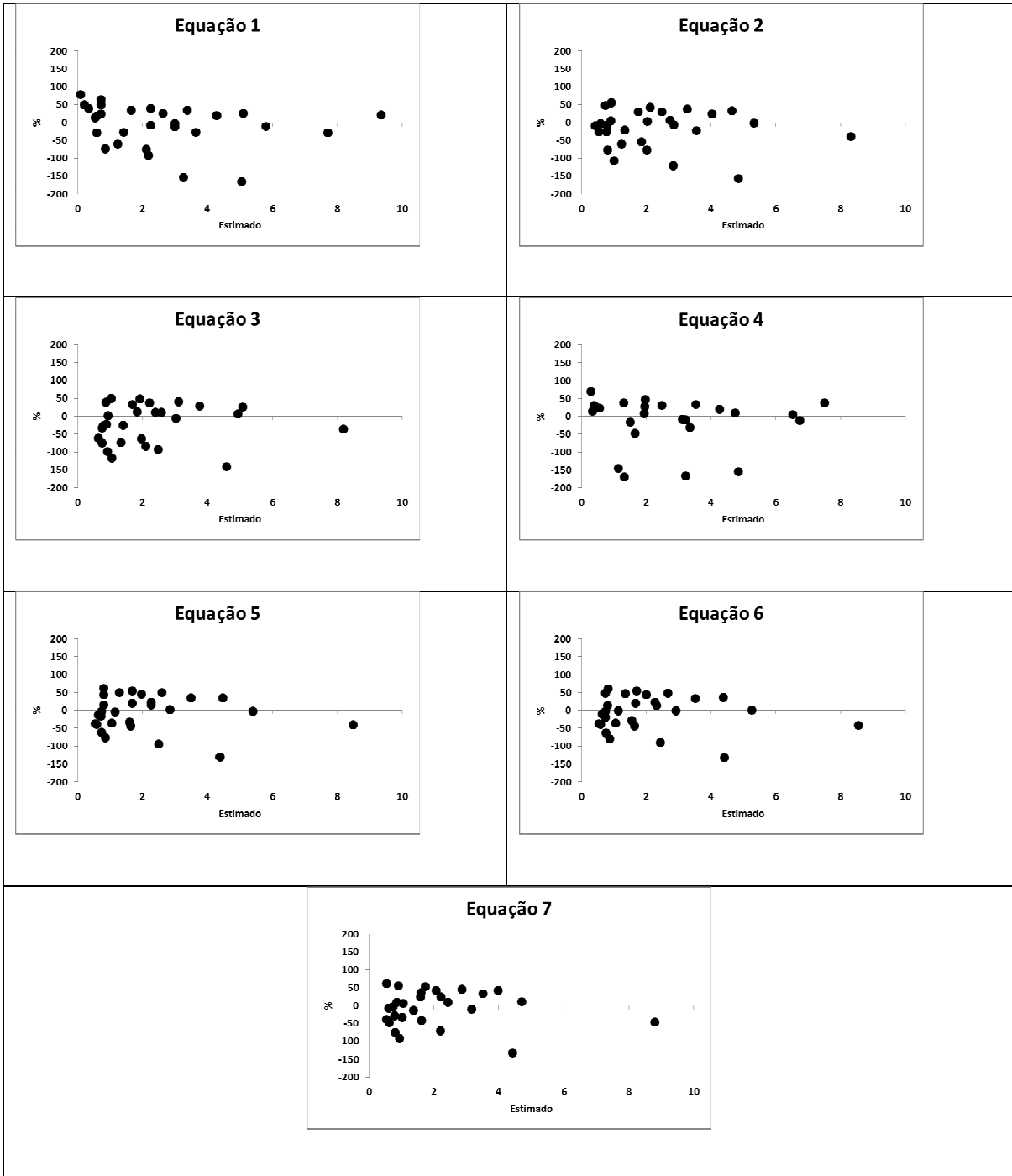


FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DA FOLHAGEM EM *Nectandra grandiflora* NEES.

4.2.4 Ajustes para as Raízes

Os modelos para a estimativa do peso seco de raízes apresentaram elevados coeficientes de determinação, com exceção do modelo cuja variável independente foi o diâmetro de copa somente. O erro padrão da estimativa variou de 27% a 104%. O modelo de melhor ajuste foi o (7), que apresentou uma distribuição gráfica de resíduos mais homogênea e bons indicadores de ajuste, conforme TABELA 6 e FIGURA 10. Pode-se dizer que as estimativas dos modelos de biomassa de raízes não são muito precisas e devem ser utilizadas com cautela.

Equação	R ² %	S _{yx} %
(1) ps raízes = -28,3918 + 2,62445*dap	70,76	77,48
(2) ps raízes= 15,6056 - 1,9267*dap + 0,00716883* dap ² *ht	85,95	53,69
(3) ps raízes = 16,1553 - 1,75176*dap + 0,0140759* dap ² *dc	90,74	27,16
(4) ps raízes = -39,5366 + 9,83429*dc	47,47	103,84
(5) ln ps raízes = -4,30406 + 2,37326*ln dap	79,00	65,35
(6) ln ps raízes = -3,8414 + 3,275*ln dap - 0,366626*ln dap ² *ht	80,08	63,94
(7) ln ps raízes = -0,395587 + 0,132527*DAP + 0,0519405*ln dap ² *ht	96,33	27,41

TABELA 6 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO PESO SECO DE RAÍZES EM *Nectandra grandiflora* NEES.

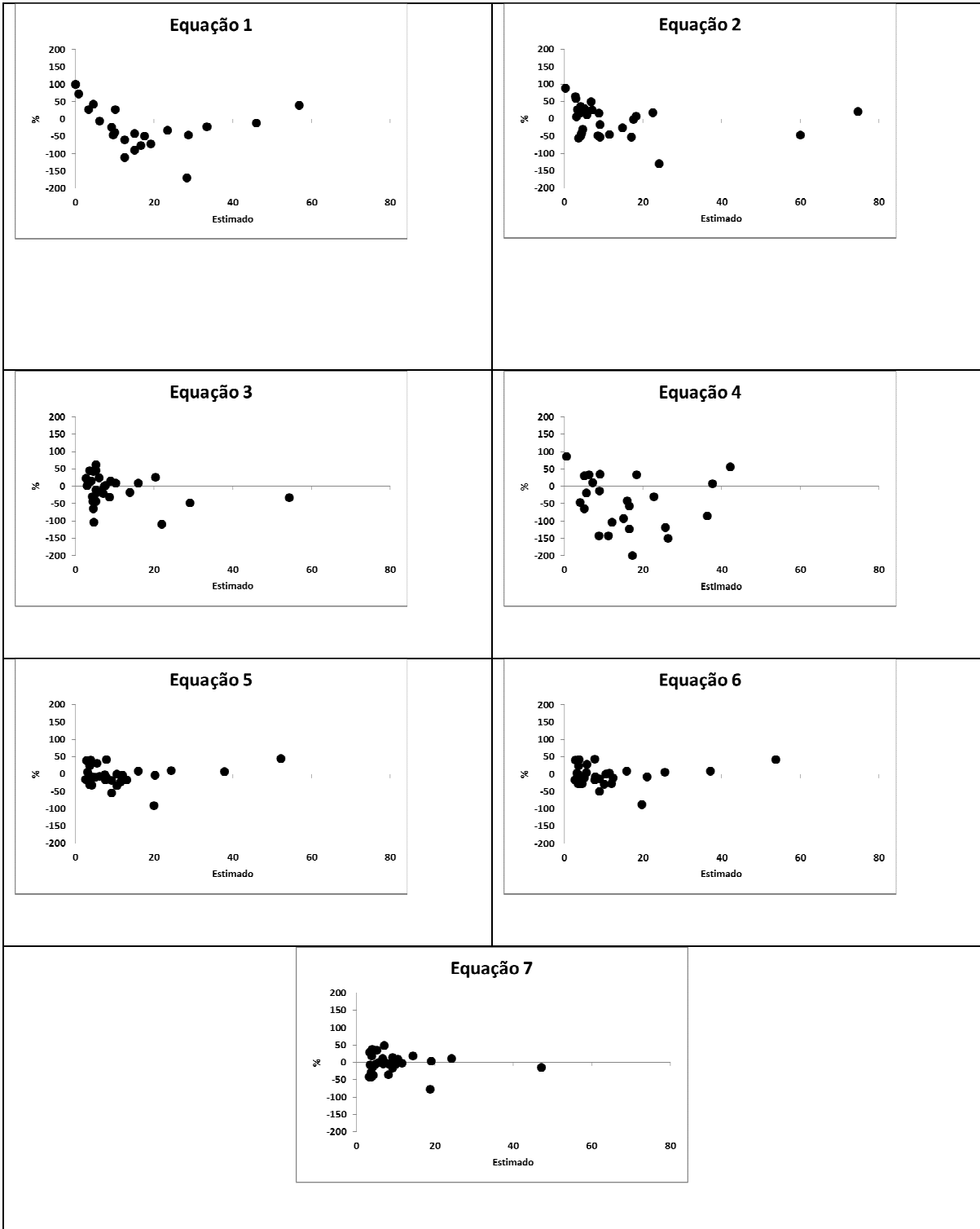


FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DAS RAÍZES DE *Nectandra grandiflora* NEES.

4.2.5 Ajustes para os Galhos

A TABELA 7 e a FIGURA 11 mostram os ajustes para o peso seco dos galhos. Mais uma vez o modelo cuja variável independente foi o diâmetro de copa apresentou indicadores fracos, evidenciando que essa variável independente não apresenta boa correlação para a estimativa da biomassa seca dos galhos da referida espécie. O erro padrão da estimativa foi elevado em todos os modelos, o que implica deficiência da amostragem, embora os modelos (3) e (7) tenham se mostrado razoáveis em termos de estimativas. O melhor modelo foi o (7), que apresentou uma distribuição gráfica dos resíduos sem tendências, embora tenha sido inferior ao (3) em termos de R^2 e $S_{yx}\%$. De forma geral, pode-se afirmar que as estimativas parciais de peso seco dos galhos são apenas razoáveis, considerando as variáveis dendrométricas DAP e altura como independentes. Portanto, seu uso requer parcimônia.

Equação	$R^2\%$	$S_{yx}\%$
(1) ps galhos = $-53,9294 + 4,88876 \cdot \text{dap}$	73,24	76,42
(2) ps galhos = $28,8582 - 3,6749 \cdot \text{dap} + 0,0134892 \cdot \text{dap}^2 \cdot \text{ht}$	89,42	48,04
(3) ps galhos = $29,9995 - 3,35623 \cdot \text{dap} + 0,0265198 \cdot \text{dap}^2 \cdot \text{dc}$	94,53	34,54
(4) ps galhos = $-78,0902 + 18,9653 \cdot \text{dc}$	52,97	101,3
(5) ln ps galhos = $-4,56919 + 2,64496 \cdot \ln \text{dap}$	87,11	52,52
(6) ln ps galhos = $-4,5565 + 2,66968 \cdot \ln \text{dap} - 0,0100527 \cdot \ln \text{dap}^2 \cdot \text{ht}$	87,0	53,12
(7) ln ps galhos = $-1,13136 + 0,124747 \cdot \text{dap} + 0,219856 \cdot \ln \text{dap}^2 \cdot \text{ht}$	85,39	31,53

TABELA 7 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO PESO SECO DOS GALHOS DE *Nectandra grandiflora* NEES

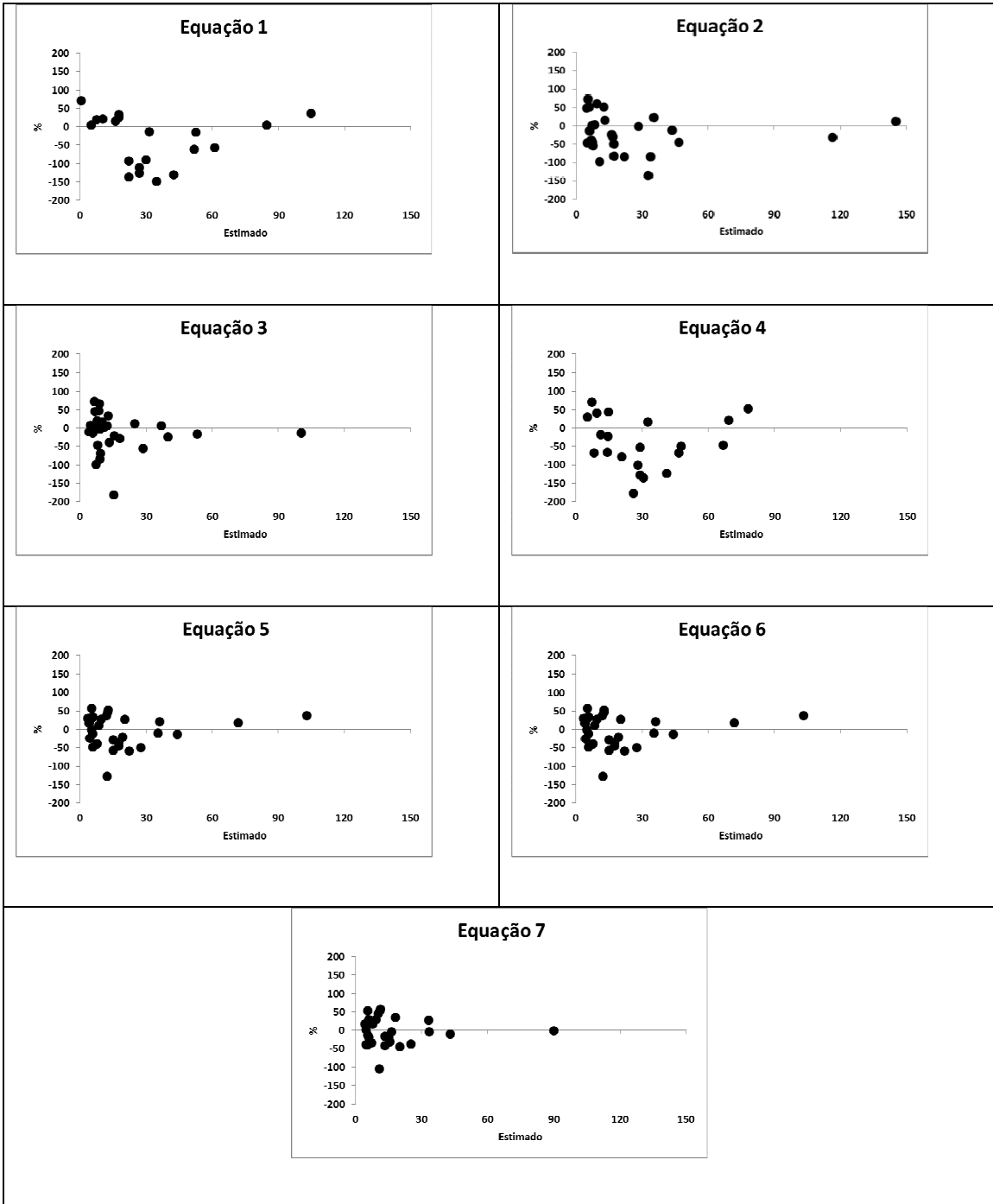


FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DE GALHOS DE *Nectandra grandiflora* NEES.

4.2.6 Ajustes para o Fuste

Para a estimativa do peso seco do fuste, percebe-se que os modelos apresentaram altos coeficientes de determinação, com exceção do modelo (4), cuja variável independente foi o diâmetro de copa (TABELA 8 e FIGURA 12). O erro padrão da estimativa variou de 14% até 52%. O melhor modelo novamente foi o (7), o qual obteve melhor desempenho nos indicadores de ajuste e distribuição gráfica mais homogênea dos resíduos.

Equação	R ² %	S _{yx} %
(1) ps fuste = -74,0485 + 8,15309*dap	91,23	27,35
(2) ps fuste = 3,35666 + 0,146195*dap + 0,0126122* dap ² *ht	97,57	14,39
(3) ps fuste = -20,2272 + 2,86581*dap + 0,0170064* dap ² *dc	94,97	20,67
(4) ps fuste = -116,0 + 31,9439*dc	67,61	52,59
(5) ln ps fuste = -2,50121 + 2,28961*ln dap	94,65	21,37
(6) ln ps fuste= -4,00364 - 0,638674*ln dap + 1,19057*ln dap ² *ht	97,21	13,93
(7) ln ps fuste = -4,40478 - 0,0184974*dap + 1,06002*ln dap ² *ht	97,64	14,89

TABELA 8 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO PESO SECO DO FUSTE DE *Nectandra grandiflora* NEES.

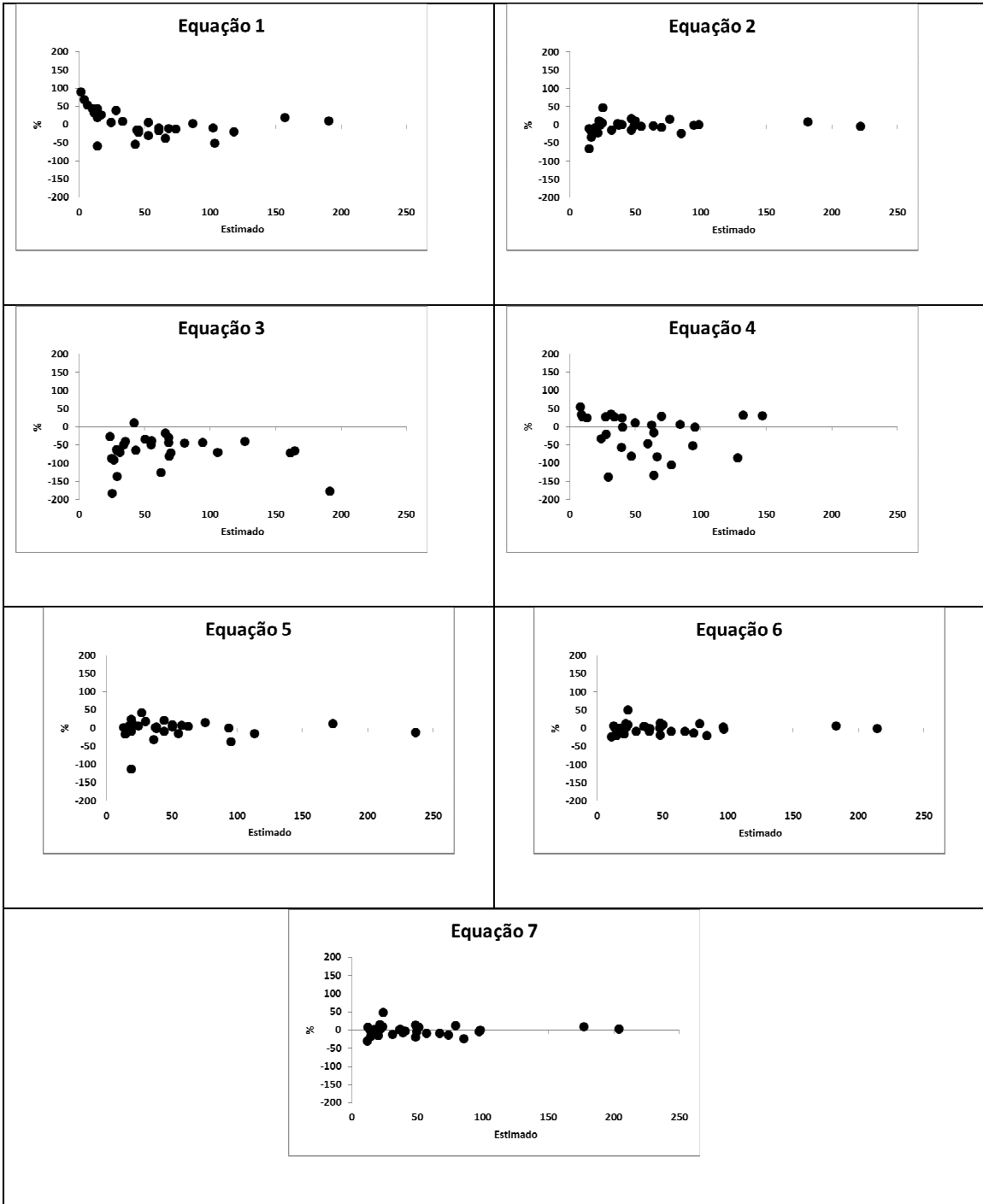


FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA DO FUSTE EM *Nectandra grandiflora* NEES

4.2.7 Ajustes para a Biomassa Total da Árvore

Para estimativa do peso seco total, todos os modelos apresentaram coeficientes de determinação altos, exceto para o caso do modelo (4). O erro padrão da estimativa variou de 14% a 67%. O modelo de melhor ajuste foi o (7), que apresentou valores de R^2 e $S_{yx}\%$ satisfatórios e uma distribuição gráfica dos resíduos com menor nível de tendência. Pode-se dizer ainda que o modelo (5) apresentou qualidade, apesar de ser baseado somente na variável independente DAP (TABELA 9 e FIGURA 13). Assim, para o uso desse modelo para a estimativa do peso seco total é necessária apenas a medição do DAP, caracterizando-se este modelo pela aplicação simples.

Equação	$R^2\%$	$S_{yx}\%$
(1) ps biomassa total = $-159,96 + 16,065 \cdot \text{dap}$	86,33	40,65
(2) ps biomassa total = $46,1634 - 5,25673 \cdot \text{dap} + 0,0335853 \cdot \text{dap}^2 \cdot \text{ht}$	97,36	17,86
(3) ps biomassa total = $25,2083 - 2,12558 \cdot \text{dap} + 0,0585094 \cdot \text{dap}^2 \cdot \text{dc}$	97,57	17,11
(4) ps biomassa total = $-239,757 + 62,3982 \cdot \text{dc}$	62,76	67,09
(5) ps ln biomassa total = $-2,26388 + 2,38201 \cdot \ln \text{dap}$	94,58	19,69
(6) ps ln biomassa total = $-3,10478 + 0,743088 \cdot \ln \text{dap} + 0,666342 \cdot \ln \text{dap}^2 \cdot \text{ht}$	95,73	22,67
(7) ln ps biomassa total = $-2,08721 + 0,0364642 \cdot \text{dap} + 0,71874 \cdot \ln \text{dap}^2 \cdot \text{ht}$	98,44	13,71

TABELA 9 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DO PESO SECO TOTAL DE *Nectandra grandiflora* NEES.

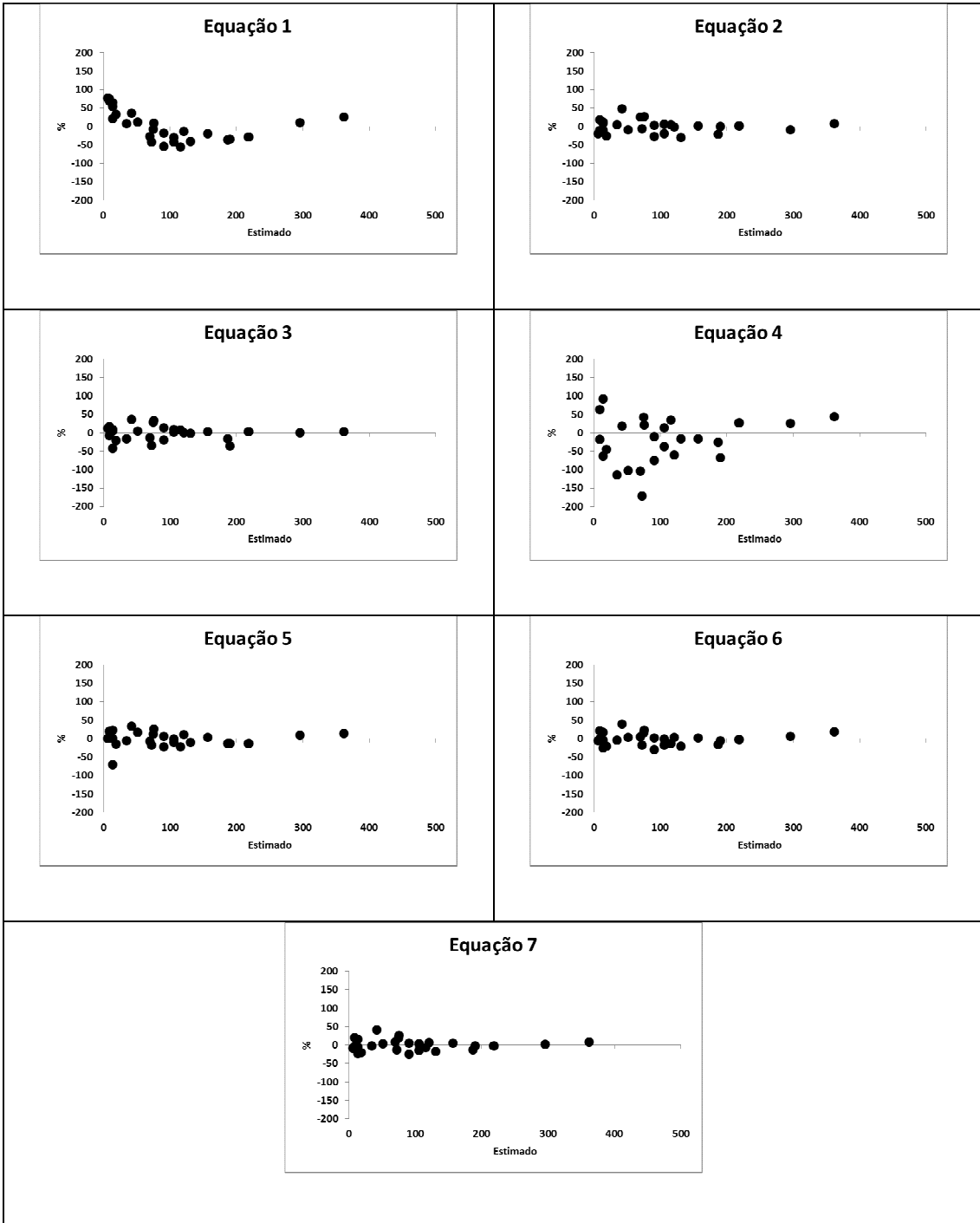


FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS PARA AS ESTIMATIVAS DE BIOMASSA SECA TOTAL EM *Nectandra grandiflora* NEES.

5 CAPÍTULO 2 – QUANTIFICAÇÃO E MODELAGEM DO ESTOQUE DE CARBONO

5.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Após a coleta das amostras em campo, estas foram enviadas ao Laboratório de Inventário Florestal (LIF) da UFPR, onde passaram por diversos procedimentos, como será descrito nos próximos itens.

5. 1.1 Procedimentos Laboratoriais

As amostras trazidas para o laboratório foram secadas individualmente, em estufa à temperatura de 70°C, até peso constante (FIGURA 14). Após a secagem realizou-se a determinação do peso seco de cada amostra. Cada componente passou pelo processo de fracionamento em partes pequenas com a ajuda de machados (FIGURA 15), sendo posteriormente trituradas em moinho de seis facas com peneiras metálicas (FIGURA 16) até adquirir a consistência de pó. Cuidados foram tomados para evitar contaminação das amostras, mediante a limpeza do moinho com jato de ar comprimido a cada amostra moída. O pó obtido foi armazenado em potes de plástico identificados, e usados na determinação dos teores de carbono (FIGURA 17).



5.1.2 Determinação dos Teores de Carbono

A determinação dos teores de carbono nas amostras foi efetuada pelo método de combustão seca, empregando o analisador marca LECO modelo C-144, de fabricação americana (FIGURA 18), o qual está sediado no Laboratório de Inventário Florestal da UFPR. Por esse método, a amostra de material sólido é levada à combustão total, sendo que um sensor infravermelho detecta a quantidade de dióxido carbono (CO₂) gerado pela combustão, relacionando-a automaticamente

com a quantidade de carbono elementar existente na amostra através de estequiometria.

Antes do início das análises, foram efetuados todos os procedimentos de calibração do equipamento, inclusive da temperatura que deve permanecer em 1000°C até o término das análises.

As amostras foram pesadas em balança analítica usando porções de 100 mg de cada amostra colocadas em recipiente de cerâmica (cadinho em forma de barquinha). Individualmente foi introduzido o recipiente no analisador, para realizar-se a combustão completa da amostra. O controle da queima completa foi realizado através da observação da curva de combustão (mostrada no vídeo do computador) e do tubo externo ao equipamento contendo perclorato de magnésio. Ao final da combustão da amostra o resultado em carbono (% da amostra) é emitido diretamente pelo computador, gravando também um arquivo para uso posterior.



FIGURA 18 – ANALISADOR DE CARBONO LECO C-144

5.1.3 Análises Estatísticas

As análises estatísticas descritivas e experimentais foram processadas por meio do programa Statistica 7, a fim de analisar suas medidas de tendência central e dispersão e verificar se, estatisticamente, existem diferenças de teores de carbono entre os compartimentos da espécie *Nectandra grandiflora*. Utilizou-se o teste de

ANOVA (Análise de Variância), para averiguar se houve diferenças significativas. Logo após esse procedimento, o teste de Tukey foi aplicado para se realizar a comparação das médias entre as distintas partes das árvores e compartimentos. Procedimentos de modelagem foram então implementados se para construir a equação final de estimativa de estoque individual de carbono a partir dos trabalhos desenvolvidos por Barbeiro *et al.* (2008).

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.2.1 Teores de Carbono

Os resultados dos teores de carbono das 30 árvores abatidas separadas em quatro compartimentos são apresentados na TABELA 10 e na FIGURA 19. Observa-se que os teores variaram cerca de 42% a 44%. Considerando todos os compartimentos, o valor médio ponderado dos teores foi de 42,33%, valores bem inferiores aos tomados como *default* pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2003), ou seja, em geral, nos projetos de créditos de carbono ocorrem superestimativas dos estoques em função de se usar o valor 50% como referência. As variações também podem ser expressas pelos desvios padrões e pelos coeficientes de variação, os quais são bastante baixos comparativamente a outras variáveis geralmente tomadas em estudos de biomassa, oscilando entre 1,6 a 3,6%. Os valores máximos e mínimos apresentados na TABELA 10 também dão ideia da amplitude dos valores dos teores de carbono na espécie, o que é consistente com outras pesquisas semelhantes.

Compartimento	Média (%)	Desvio Padrão (%)	CV (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)
Folhagem	44, 114	0, 7685	1, 7421	46, 432	42, 875
Galhos	42, 428	1, 5283	3, 6021	45, 050	37, 935
Raízes	42, 765	0, 6997	1, 6362	44, 481	41, 786
Fuste	42, 106	1, 2054	2, 8628	44, 057	38, 370
Média ponderada	42, 334	-	-	-	-

TABELA 10 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS TEORES DE CARBONO POR COMPARTIMENTO DA BIOMASSA EM *Nectandra grandiflora* NEES

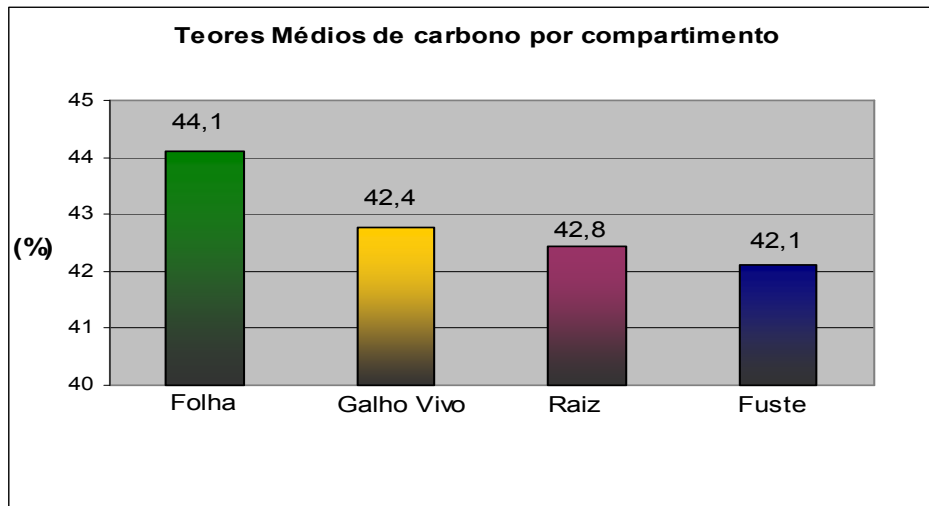


FIGURA 19 - TEORES MÉDIOS DE CARBONO ORGÂNICO POR COMPARTIMENTO

Na TABELA 11 verifica-se que houve diferença significativa entre as médias dos teores de carbono dos compartimentos. Conforme se pode visualizar na FIGURA 20, a folhagem possui a maior média, a qual difere estatisticamente da média dos demais compartimentos pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade de confiança. Os demais compartimentos não diferem entre si estatisticamente pelo teste.

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	F tabelado
Compartimento	70, 12845	3	23, 37615	19, 20384**	2, 682809
Resíduo	141, 2026	116	1, 217264		
Total	211, 3311	119			

TABELA 11 - ANOVA PARA TEORES DE CARBONO EM CADA COMPARTIMENTO EM *Nectandra grandiflora* NEES.

** Diferenças ao nível de 1% de probabilidade de confiança

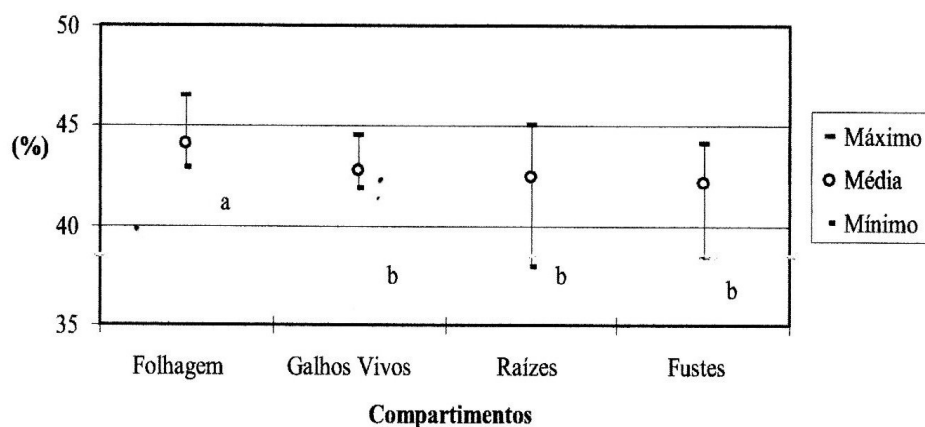


FIGURA 20- TEORES MÉDIOS DE CARBONO E AMPLITUDE PARA CADA COMPARTIMENTO EM *Nectandra grandiflora* NEES.

Em *Araucaria angustifolia*, Weber *et al.* (2003) encontraram teores médios de carbono para o fuste de 44,1%, para a folhagem de 44,0%, para galhos mortos de 42,9%, para galhos vivos de 41,7%, para raízes de 40,5% e para casca de 40,1%. Weber *et al.* (2006), trabalhando com outras seis espécies da Floresta Ombrófila Mista, encontraram os seguintes teores médios de carbono: 42,2% em *Myrsine ferruginea*, 41,8% em *Ocotea porosa*, 41,3% em *Ilex paraguariensis*, 41,0% em *Mimosa scabrella*, 40,7% em *Symplocos uniflora* e 39,9% em *Styrax leprosus*. Em *Mimosa scabrella*, Urbano (2007) encontrou valores para os teores de carbono de 45,46% para as folhas, 44,69% para a casca, 44,13% para galhos inferiores a 4 cm de diâmetro, 43,94% para galhos superiores a 4 cm de diâmetro e 43,68% para o fuste. Portanto, os valores encontrados neste estudo estão condizentes com os de outros pesquisadores trabalhando na mesma ecorregião, ou seja, os valores variam entre 40 e 45%, aproximadamente, para todos os compartimentos. Dependendo da espécie e das condições ambientais, os teores de carbono variam, mas sempre dentro de um mesmo espectro. É importante salientar que os valores encontrados (neste estudo e por outros pesquisadores) são sempre inferiores ao referencial de 50% amplamente utilizado em metodologias de quantificação de carbono em plantas.

5.2.2 Estoque Individual de Carbono

As estatísticas descritivas dos valores de estoque individual de carbono são apresentadas na TABELA 12. Nota-se que o estoque médio individual por árvore, somando-se todos os compartimentos, foi de 37,80 kg, com valores mínimos e máximos de 7,62 e 209,18 kg, respectivamente.

Compartimento	Média (kg)	Desvio Padrão (kg)	CV (%)	Máximo (kg)	Mínimo (kg)
Folhagem	1,14	1,14	100,28	5,32	0,17
Galhos	9,27	13,76	148,51	70,48	0,79
Raízes	5,28	7,74	146,63	41,92	0,97
Fuste	22,12	20,79	93,98	91,45	3,79
Total	37,80	42,14	111,48	209,17	7,62

TABELA 12 - ESTOQUE INDIVIDUAL DE CARBONO EM ÁRVORES DA *Nectandra grandiflora* NEES.

A distribuição do estoque de carbono nos compartimentos seguiu padrão semelhante ao da biomassa seca, devido ao fato de os teores de carbono serem estáveis, na faixa de 40 a 45%. Em termos percentuais, o estoque individual de carbono se distribui na planta da seguinte forma: cerca de 60% no fuste, 22% nos galhos, 14% nas raízes e 3% na folhagem, seguindo a tendência da biomassa seca, conforme pode ser visto na FIGURA 21.

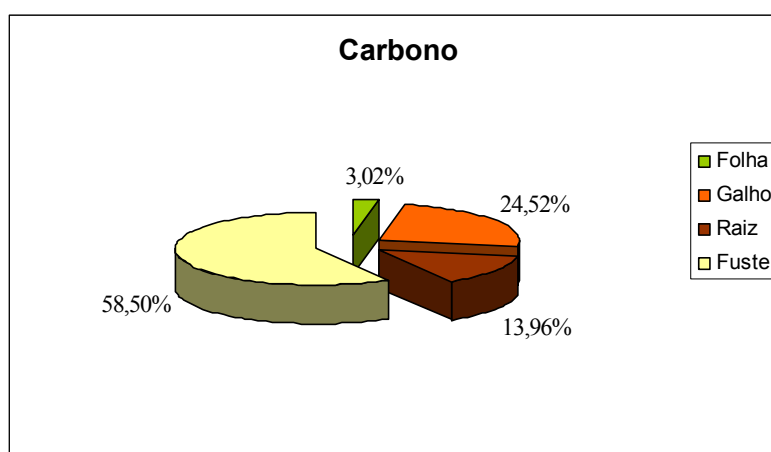


FIGURA 21 - PROPORÇÃO DE CARBONO EM 30 ÁRVORES DE *Nectandra grandiflora* NEES.

5.2.3 Modelo Individual de Carbono

Com base nos valores de peso de carbono individual e os respectivos valores de DAP das 30 árvores-amostras foram testados vários modelos matemáticos (BARBEIRO *et al.*, 2008), entre os quais foi eleito o melhor para aplicação neste trabalho. A equação resultante foi a seguinte:

$$PCTotal = \exp [-2,26388 + 2,38201 \times \ln (dap)] \times 0,42334$$

Esta equação, derivada da equação (5) contida na Tabela 9, quando aplicada, permite calcular o estoque individual de carbono para biomassa acima e abaixo do solo (total), exclusivamente com base no DAP das árvores e o teor médio de carbono para a espécie: 42,334%.

Aplicando-se a equação acima se obtém a estimativa de estoque de carbono retratada na FIGURA 22. Este gráfico mostra que, de uma forma prática, somente com uma medida de fácil obtenção (DAP), pode-se estimar o estoque de carbono, com boa qualidade estatística. Assim, árvores adultas da espécie poderiam atingir valores próximos de 200 kg de carbono na sua massa seca, o que significaria, em termos de CO₂ equivalente, por volta de 733 kg.

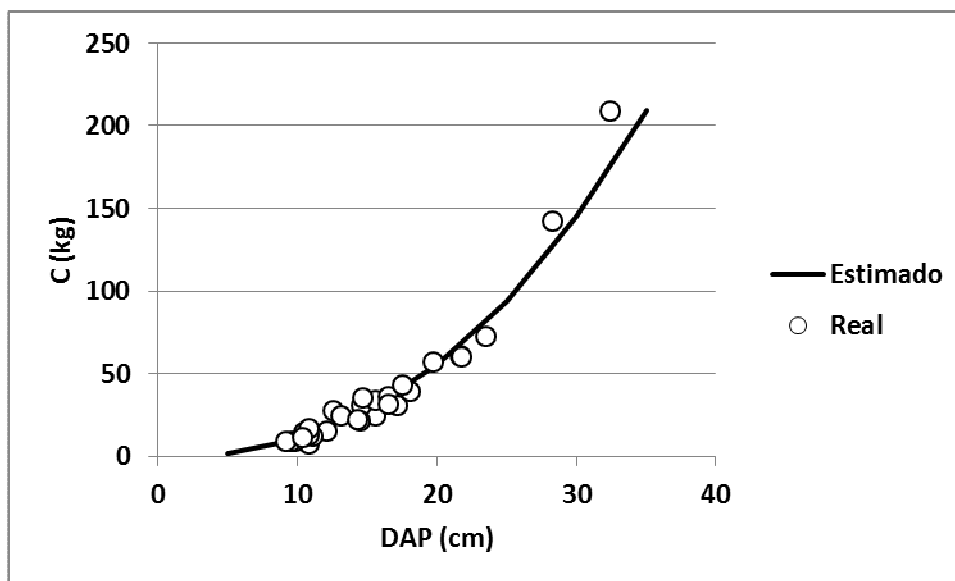


FIGURA 22 - ESTOQUE INDIVIDUAL DE CARBONO EM *Nectandra grandiflora* NEES EM FUNÇÃO DO DAP, CONSIDERANDO O TEOR MÉDIO DE CARBONO DA ESPÉCIE

6 CONCLUSÕES

De acordo com a análise dos resultados obtidos neste estudo, pode-se documentar algumas importantes conclusões como segue:

- A maior biomassa de *Nectandra grandiflora* encontra-se no fuste, galho vivo e raiz.
- A matriz de correlação entre as variáveis dependentes e independentes permite concluir que o DAP de *Nectandra grandiflora* possui a mais alta correlação com o peso seco total seguido do diâmetro de copa e da altura total.
- A equação selecionada $PS_{total} = \exp [-2,26388 + 2,38201 \times \ln (dap)]$ apresentou a melhor qualidade de ajuste, com resíduos não tendenciosos com $R^2_{aj} \% = 94,58$ e $Syx\% = 19,69$
- A canela-amarela (*Nectandra grandiflora*) possui uma boa relação alométrica, sendo possível gerar estimativas confiáveis de peso seco total a partir de modelos matemáticos que utilizam variáveis de fácil obtenção.
- O compartimento que apresentou maior concentração de carbono foi a folhagem.
- A média ponderada dos teores de carbono encontrados nesta pesquisa foi bem inferior ao sugerido como *default* pelo IPCC (50%).
- A maior fração de biomassa seca na espécie estudada está no seu fuste, seguido de galhos, raízes e folhagem.
- O peso da árvore média dessa espécie, com DAP médio de 15,47 cm, é de 88,62 kg, equivalente a 37,80 kg de carbono, ou seja, 138,60 kg de CO₂ equivalente.
- É possível estimar o estoque de carbono da espécie por meio de modelos matemáticos, sendo que as estimativas total individual da árvore e do seu fuste apresentaram melhor qualidade de ajuste.
- O modelo $PCTotal = \exp [-2,26388 + 2,38201 \times \ln (dap)] \times 0,42334$ representa satisfatoriamente o comportamento do estoque individual de carbono em função do DAP da árvore da espécie em apreço. Esse modelo pode ser aplicado em projetos de reflorestamento voltados ao mercado de créditos de carbono, pois se

pode, a partir dele, fazer a estimativa das remoções de CO₂ para o período de creditação sem precisar derrubar árvores para esse fim, apenas com medições através de inventário florestal convencional.

7 RECOMENDAÇÕES

O uso de equações alométricas é uma ferramenta importante na geração de dados que vise obtenção de parâmetros científicos para estudar a dinâmica do ecossistema florestal em termos de ciclagem de nutrientes, fixação de carbono e ainda pode servir para manejar recursos florestais madeiráveis e não madeiráveis. A qualidade técnica e científica de trabalhos de biomassa está alicerçada na teoria da amostragem.

Em trabalho de biomassa uma variável importante a considerar pode ser o DAB (diâmetro altura da base), pois permite interpretações ecológicas sobre a alometria e conseqüentemente servir como variável independente em modelos matemáticos.

Deve-se discutir mais detalhadamente a função dos plantios florestais e suas contribuições para a mitigação do aquecimento global.

A metodologia não destrutiva tem se mostrado bastante eficiente e com valores muito próximos dos valores obtidos através do método destrutivo. Essa proximidade de valores garante uma aplicação com um nível de confiabilidade bastante elevado, permitindo uma análise precisa de forma a não impactar um ecossistema que já se encontra tão devastado, como é o caso da Floresta Ombrófila Mista.

Recomenda-se ainda, aplicar essa metodologia de quantificação de biomassa em outras espécies da Floresta com Araucária.

REFERÊNCIAS

ALEMDAG, I. S. **Manual of data collection and processing for the development of forest biomass relationships**. Ottawa: Minister of Supply and Services Canada, 1980. 38 p.

ALVES, A. M. C. **Estimativa da produção de biomassa e do teor de carbono seqüestrado por clones de eucaliptos, no pólo gesseiro do Araripe – PE**. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rura de Pernambuco, Recife, 2007.

AMBIENTE BRASIL. Sequestro de carbono na Amazônia e o ZEE. Disponível em http://ambientes.ambientebrasil.com.br/mudancas_climaticas/artigos/seq%C3%BCetro_de_carbono_na_amazonia_e_o_zee.html. Acesso em: 18 de abril de 2011.

ANGELSEN, A. **Moving Ahead with REDD – Issues, Options and Implications**. Indonesia: CIFOR, 2008. 156p.

BALBINOT, R. **Implantação de florestas geradoras de créditos de carbono: estudo de viabilidade no sul do estado do Paraná, Brasil**. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

BALTEIRO, L. D.; ROMERO, C. Carbon captured as a new instrument in forest management; some implications. *Scientia Florestalis*, n. 63, p. 103-114, 2003.

BARBEIRO L. S. S.; VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R. Modelagem da biomassa de *Nectandra grandiflora* (canela-amarela). **Floresta**, Curitiba, 2008.

BARICHELLO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M. Quantificação de biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil. *Ciência Florestal*, Vol. 15, n. 2. Santa Maria. 2005. p. 129-135.

BINDSCHADLER, R. A. & BENTLEY, C. R. - Fantasmas do Degelo. In: *Scientific American Brasil*. Nº 12. Set-2005. pp. 26-33

BOSCOLO, M.; BUONGIORNO, J. Managing a tropical rainforest for timber, carbon storage and tree diversity. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v.76, n.4, p.246-254, 1997.

BROWN, S. Estimating biomass and biomass changing of tropical forests: a primer. **FAO Forestry Paper**, Rome, n.134, p.1-55, 1997.

CALDEIRA, M.V.W. et al. Determinação de carbono orgânico em povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild plantados no Rio Grande do Sul. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v.1, n.2, p.47-54, 2003.

CALSING, R. A. **O Protocolo de Quioto e o direito do desenvolvimento sustentável**. Porto Alegre: Fabris, 2005.

CAMPOS, M. A. A. **Balço 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.

CAMPOS, C.P. de **A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001. 169p.

CHANG, M. Y. Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas. In: SANQUETTA, R. C.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisa**. Curitiba: AM Impressos, 2004. p. 15-37.

CONRADO, D. *et al.* Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas. SANQUETTA, C. R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; CORTE, A. P. **Carbono: desenvolvimento tecnológico, aplicação e mercado global**. Curitiba: UFPR/Ecoplan, 2006. p. 80-92.

CROW, T. R.; SCHLAEGEL, B. E. A guide to using regression equations forestimating tree biomass. **Northern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v. 5, n.1, mar, 1988.

DALLA CORTE, A. P. BALBINOT, R. **Metodologia para detecção da elegibilidade, linha de base e monitoramento de projetos de MDL florestal**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. 3. ed. New York.:J.Wiley, 1998. 706p

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo-PR**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

DEMILLO, R. **Como funciona o clima**. São Paulo: Quark, 1998.

FANG, J.; WANG, G. G.; LIU, G.; XU, S. Forest biomass of Masson pine in Huitong, Human Province. *For. Res.* v.1, p .117-134, 1998.

FEARNSIDE, P. M. *et al.* Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.123, p.65- 79, 1999.

FIGUEIREDO; A,F. **Estudos de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida da amazônia brasileira**. Tese apresentada ao curso de pós graduação de engenharia florestal da universidade federal do Paraná, Curitiba, 1983.

FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná; PROBIO – Projeto de Conservação da Diversidade Biológica Brasileira. Sub-projeto: Conservação do Bioma Floresta com Araucária. Relatório Final: **Diagnóstico dos Remanescentes Florestais**, vols. 1 e 2. Curitiba: FUPEF, 2000.

FUPEF – Fundação Pesquisas Florestais do Paraná. **Relatório do projeto Zoneamento para fins de uso sustentável e conservação dos recursos da Floresta Ombrófila Mista no Estado do Paraná**. Curitiba: 2002. 98p.

FUPEF (Fundação de Pesquisas Florestais). **A floresta com araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 236p.

FUPEF-CNPq - Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). **Conservação do bioma Floresta com Araucária**. Curitiba: Relatório Final, v. 1 e 2, 2001.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. de. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: EMISSÃO × seqüestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro: [s.n.], 1994. p. 125-153.

HIGUCHI, N. *et al.* Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. Manaus. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 2, p.153-166, 1998.

HIGUCHI, N. *et al.* Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. In: HIGUCHI, N.; SANTOS, J. de.; LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; TRIBUZY, E. S. (org.). III curso de manejo florestal-turma: Manuel Natividade Taveira. INPA, Manaus. 2006.

HOPPE. J. M.; WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V. Estimativa de biomassa em povoamentos de *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. estabelecidos no município de Dom Feliciano, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 463-471, 2006.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U.S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Ed. da UFPR, 1998.

HOUGHTON, R.A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: seminário emissão x sequestro de co₂ – uma nova oportunidade de negocios para o brasil, 1994. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CURD, 1994. p. 38-76.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual técnico da vegetação brasileira. **Série Manuais técnicos em geociências**, nº 1. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92p.

IESB/IG – Instituto de Estudos Socioambientais do Sul da Bahia; Instituto de Geociências da UFPR/UFF. **Levantamento da cobertura vegetal nativa do Bioma Mata Atlântica. Relatório Final.** Rio de Janeiro: IESB/IGC, 2007. 84p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2001:** A contribution of working groups I, II, and III to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. United Kingdom: R.T. Watson: The Core Writing Team, 2001. 398 p. Disponível em: 124 <http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/>. Acesso em: 27/10/2009. Synthesis report.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Good Practice Guidance for Land-Use Change and Forestry.** Geneva, 2003. 3.324 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Kanagawa, Japan: J. Penman, 2003, 583 p. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_contents.html>. Acesso em: 02/07/2010.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along vegetation gradient in the Brazilian cerrado. **Journal of Ecology**, London, v.82, p.519-531, 1994.

KETTERINGS, Q. M.; COE, R.; NOORDWIJK, M. van.; AMBAGAU, Y.; PALM, C. A. 2001. 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.

KIRBY, K. R.; POTRIN, C. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, n. 246. 2007. p. 208-221.

LAL, R. GRIFFIN, M.; APT J.; LAVE, L. e MORGAN, M. G. Managing soil carbon. **Science**, 304: 393. 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: EPU, 1986. 319p.

LIMIRO, D. **Créditos de Carbono**: Protocolo de Kyoto e Projetos de MDL. Curitiba: Juruá, 2009. 170p.

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no sul do Brasil**. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

LOPES, I. V. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: guia de orientação**, Ignez Vidigal Lopes (Coord.), Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002. 90 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1998 v. 2.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2a ed. Curitiba, Editora Unicentro, 2003. 306p.

MACIEL, C.V et al. Crédito de carbono: comercialização e contabilização a partir de projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo. RIC - Revista de Informação Contábil, Vol. 3, no 1, p. 89-112, Jan-Mar/2009 . Pernambuco;

MAN YU, C. M. Sequestro florestal de Carbono no Brasil; dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas. São Paulo: Annablume; IEB, 2004. 280p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas**: das magnoliáceas às flacurtiáceas. Santa Maria, RS: Editora da UFSM, 1997. 271 p.

MARTINELLI, L. A. *et al.* Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In.: SEMINÁRIO EMISSÃO E SEQÜESTRO DE CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p.197-221.

MARTINS, O.S. **Determinação do potencial de seqüestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos – SP.** Curso de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos. 2004. 137p.

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia. Primeiro Inventário Brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa, **Relatórios de referência: emissões e remoções de dióxido de carbono por mudanças nos estoques de florestas plantadas.** [MARCOLIN, M.; SANTOS, A.A.dos; SALATI, E.] Brasília, 2002. 47p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação 2009.** Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio: FIDES, 2009. 131 p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0205/205947.pdf>. Acesso em: 04/8/2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL; IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa dos biomas brasileiros, 2004. Em: www.mma.gov.br E www.ibge.gov.br, acesso em 29/10/2010.

MIRANDA, D. L. C. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista.** 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

NUTO, L. *et al.* O Mercado internacional de de CO₂: Impacto das florestas naturais e plantações. In: SANQUETTA C. R. *et al.* (Ed.). **As florestas e o carbono.** Curitiba: [s.n.], 2002. p. 89-108.

PIZATTO, W. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo – PR: 1995 a 1998.** 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

PROTOCOLO DE QUIOTO. Protocolo de Quioto. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações exteriores da República Federativa do Brasil. 1997. 29p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Flora Ilustrada Catarinense: Araucariáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 62p

RIBEIRO, A. B.; SILVA, D. H. S; BOLZANI, V. S. Antioxidant flavonol glycosides from *Nectandra grandiflora* (Lauraceae). **Eclética Química**, v. 27, n. especial, p. 35-44, 2002.

ROCHA, M.T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003. 213 p.

ROCHADELLI, R **A estrutura de fixação dos átomos de carbono em reflorestamento (Estudo de caso: *Mimosa scabrella* Bentham, Bracatinga)**. 86 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

RODRÍGUEZ TELLO, J. C. **Eficiência e custos de diferentes formas e tamanhos de unidades de amostra em uma floresta nativa de *Araucaria angustifolia* (Bert.) o Ktze no sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

SALOMÃO, R. P.; NEPSTAD, D. C.; VIEIRA, I. C. G. Como a biomassa de florestas tropicais influi no efeito estufa? **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 21, n. 123, p. 38-47, 1996.

SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ, Curitiba: 1996. 49 p. (Série Didática, n. 8).

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA C. R. *et al.* (ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [s.n.], 2002. p.119-140

SANQUETTA, C. R. et al. Estrutura vertical de um fragmento de floresta ombrófila mista no centro sul do Paraná. **Revista Floresta**, v. 32, n. 2, p. 267-276, 2002.

SANQUETTA, C.R; CORTE, A.P.D.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M.A.B. Proposta metodológica para quantificação e monitoramento do carbono estocado em florestas plantadas. In: Carlos Roberto Sanquetta; Marco Aurélio Zilliotto. (Org.). Mercado de carbono: mercado e ciência. Curitiba: UFPR, v. 1, p.120-150. 2004.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: AM Impressos p.95-124., 2004.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; VULCANIS, L.; BERNI, D. M. Sobrevivência de mudas de *Araucaria angustifolia* perante o controle de taquaras (bambusoideae) no Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v.35, n. 1, p.127-135. jan./abr. 2005.

SANQUETTA, C.R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das florestas de Araucária**. Curitiba: PELD/CNPQ, 2006, 297p.

SANTOS, k. **Impacto do Controle Mecânico de Taquaras (Bambusoideae) Sobre a Regeneração de uma área de Floresta Ombrófila Mista**. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SCHAAF, L. B. **Florística, estrutura e dinâmica no período 1979-2000 de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Paraná**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SCHAAF, L.B.; FILHO, A.F.; GALVÃO, F.; SANQUETTA, C.R.; LONGHI, S.J. Modificações florísticoestruturais de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Montana no período entre 1979 e 2000. *Ciência Floresta*, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 271-291, 2006.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. Inventário de carbono em povoamentos de *Eucalyptus* ssp. Nas propriedades fumageiras do sul do Brasil; “Um estudo de caso”. In: Sanquetta, C.R.; In: SANQUETTA, C.R.;BALBINOT,R.; ZILLIOTTO,

M.A.B.(Eds). Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba: AM impressos, 2004. p. 39-53.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n 4, p. 789-800, out/dez, 2010.

SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; GORGENS, E. B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. i-f., oct. 2005.

SOARES FILHO, B. S.; NEPSTAD, D; CURRAN, L.; VOLL, E.; CERQUEIRA, G.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; MCDONALD, A; LEFEBVRE, P., SCHLESINGER, P. Modeling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, p. 520-523, 2006.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa. Ed.UFV. 2006. 278 p.

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.

SOS MATA ATLÂNTICA; INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2005-2008**. Fundação SOS Mata Atlântica, 2009. 156p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Protocolo de Quioto**. 2. ed. Brasília: MCT, 2001. 34 p.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). **Kyoto Protocol**, COP 7 / 1997. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Kyoto Protocol**. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. Acesso em: 02/07/2010

URBANO, E. **Quantificação e estimativa aérea da biomassa e do carbono fixado em árvores de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 140 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

VICÁRIA, L.; MANSUR, A. Fome, sede, inundações, furacões, extinção de espécies: que mundo será este? **Revista época**, n 455, p. 92-101, 5 fev. 2007

VIEIRA, G.; BARBEIRO L. S. S.; SANQUETTA, C. R. Estoque individual de biomassa e carbono em *Nectandra grandiflora* (canela-amarela). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 547-557, 2010.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Quantificação da biomassa em uma Floresta Estacional Decidual em Itaara, R.S., Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 419-425. 2006.

WANG, X.; FENG, Z.; OUYANG, Z. The impact of human disturbance on vegetative carbon storage in forest ecosystems in China. **Forest Ecology and Management**, v. 148, p. 117-123, 2001.

WATZLAWICK, L.F.; et al. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no Sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica**, Curitiba, 2002. 20p.

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**. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Curitiba, 2003.

WATZLAWICK, L. F. *et al.* Teores de carbono em espécies da Floresta Ombrófila Mista. In: SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (EDS.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisa**. Curitiba: UFPR/Laboratório de Inventário Florestal: Instituto Ecoplan: PELD, 2004. p. 95-109.

WEBER, K. S.; SANQUETA, C. R.; MELLO, A. A.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. Variação nos teores de carbono orgânico em povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Brasil Florestal**, Brasília-DF, v. 76, n. 1, p. 23-28, 2003.

WEBER, K. S. *et al.* Teores de Carbono Orgânico de Seis Espécies Naturais do Ecosistema da Floresta Ombrófila Mista. **Ambiência**, Guarapuava, v. 2 n. 2, p.167-177, jul/dez., 2006.

WOOMER, P. L.; PALM, C. A. An approach to estimating carbon stocks in tropical forests and associated land uses. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v.77, n.3, p.181-190, 1998.