

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VITOR HUGO ZANETTE

**EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS DE BIOMASSA AÉREA PARA FLORESTA  
OMBRÓFILA MISTA NO PARANÁ**

CURITIBA

2017

VITOR HUGO ZANETTE

**EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS DE BIOMASSA AÉREA PARA FLORESTA  
OMBRÓFILA MISTA NO PARANÁ**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Soares Koehler.

CURITIBA

2017

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Zanette, Vitor Hugo

Equações alométricas de biomassa aérea para floresta ombrófila mista no  
Paraná / Vitor Hugo Zanette. – Curitiba, 2017.

80 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Soares Koehler

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba,  
24/03/2017.

Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Florestas - Paraná. 2. Florestas - Métodos estatísticos. 3. Biomassa. 4. Manejo  
florestal. 5. Teses. I. Koehler, Henrique Soares. II. Universidade Federal do Paraná,  
Setor de Ciências Agrárias. III. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.51(816.2)



## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de VITOR HUGO ZANETTE intitulada: **EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS DE BIOMASSA AÉREA PARA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO PARANÁ**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.


Curitiba, 24 de Março de 2017.

  
HENRIQUE SOARES KOEHLER

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

  
RAFAELO BALBINOT

Avaliador Externo (UFSC)

  
MÁRCIO CORAIOLA

Avaliador Externo (PUC/PR)

  
SONIA MARIA KURCHAIT

Co-orientador - Avaliador Externo (UNICENTRO)

  
LUCIANO FARINHA WATZLAWICK

Avaliador Externo (UFPR)



À minha esposa, Maria Cristina,  
que soube compreender as razões da  
minha ausência. Aos meus filhos, Cristina  
Maria e João Vitor pelo apoio. Aos meus  
pais, Anildo (*in memoriam*) e Brunilda,  
exemplos de pessoas. Ao meu neto, Vitor,  
que é a alegria do Nono...

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que com sua proteção sempre esteve comigo em todos os momentos iluminando e indicando meu caminho. Obrigado por mais esta conquista.

Ao meu orientador Professor Dr. Henrique Soares Koehler pela oportunidade de realizar este curso, pelo seu profissionalismo, confiança, disponibilidade, apoio incondicional e principalmente pela amizade.

Aos co-orientadores, Prof. Dr<sup>a</sup>. Sonia Maria Kurchaidt e Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick, pela amizade, sugestões e apoio

Aos amigos Prof. Dr. Solon Jonas Longhi e Prof. Dr. Luiz Gilberto Bertotti, pela ajuda, e incentivo na realização deste trabalho.

A Dr<sup>a</sup> Leticia Kurchaidt Pinheiro Camargo e ao Dr. Luiz Carlos Ratuchne pelo apoio e auxílio em todos os momentos do desenvolvimento deste trabalho.

A minha esposa Maria Cristina pela paciência (principalmente nas ausências), dedicação, amor e carinho e também pelo apoio incondicional.

Aos meus filhos Cristina Maria e João Vitor pelas sugestões e auxílio na elaboração deste estudo, pois os alunos superaram o mestre.

Aos meus pais Anildo (in memoriam) e Brunilda pelo exemplo.

A família Zanette pelo apoio irrestrito em todos os momentos de minha vida, representando o alicerce de toda a minha formação e das minhas realizações.

A Universidade Estadual do Centro-Oeste e a Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de realizar este projeto.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, muito obrigado.

Depois de toda esta caminhada eu não quero mais ter razão. Prefiro ser feliz.

O pessimista reclama do vento, o otimista espera que ele mude, o realista ajusta as velas.

(desconhecido.)

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar modelos de equação para a estimativa da biomassa aérea seca de seis diferentes regiões de Floresta Ombrófila Mista do Estado do Paraná. O estudo foi desenvolvido utilizando amostras de biomassa aérea de 382 árvores, coletadas por meio do método destrutivo, distribuídas nas regiões de Araucária (102), Boa Ventura de São Roque (26), Castro (42), Coronel Vivida (17), General Carneiro (172) e Reserva do Iguaçu (23). O número de espécies encontradas foi de 109 com predominância das Euphorbiaceas (86), Myrtaceas (54), Lauraceas (29), Aquifoliaceas (26), Primulaceas (24) e Araucariaceas (15) entre outras, com destaque para o Pinheiro do Paraná que foi amostrado apenas em General Carneiro. As florestas sofreram ações de manejo em diferentes graus e várias estão em franco processo de regeneração, pois foram isoladas pelos proprietários. As equações foram ajustadas tendo como variável independente o diâmetro a altura do peito (*dap*) medido a 1,3m do solo, em centímetros. Para cada área estudada foram ajustados seis modelos diferentes e com a junção das regiões também foram ajustados modelos para o novo grupo denominado de “Paraná”. A seleção das equações foi realizada com o auxílio das estatísticas: coeficiente de determinação ajustado ( $R_{aj}^2$ ), erro padrão da estimativa em percentagem  $S_{yx}(\%)$ , teste *F* e análise gráfica da distribuição dos resíduos padronizados. A melhor equação encontrada foi a polinomial de segundo grau. Para a junção das seis áreas ou seja do “Paraná” também a polinomial do segundo grau apresentou as melhores estatísticas. Após a seleção da melhor equação foi verificado se as seis áreas poderiam ser representadas por uma única equação utilizando a metodologia que consiste na comparação, por meio do teste *F*, dos modelos completo e reduzido. O teste *F* para as equações das seis áreas em estudo foi não significativo, para  $\alpha=5\%$ , para o modelo reduzido da equação polinomial de segundo grau. Assim, a não existência de diferença significativa entre o modelo completo e reduzido leva a concluir que o ajuste de uma única equação é adequado para quantificar a biomassa das seis áreas estudadas e distribuídas nas regiões da Floresta Ombrófila Mista do Paraná, com 95% de confiança.

**Palavras-chave:** Floresta Ombrófila Mista. Equações de regressão. Identidade de Modelos.



## ABSTRACT

The main goal of the present work was to evaluate regression models for estimation of dry aerial biomass of six different regions of the Mixed Ombrophilous Forest of the state of Paraná. The study was developed using aerial biomass samples from 382 trees, collected by the destructive method, distributed in the regions of Araucária (102), Boa Ventura de São Roque (26), Castro (42), Coronel Vivida (17), General Carneiro (172) and Reserva do Iguaçu (23). The number of species found was 109, with a predominance of Euphorbiaceae (86), Myrtaceae (54), Lauraceae (29), Aquifoliaceae (26), Primulaceae (24) and Araucariaceae (15). *Araucaria angustifolia* (Pinheiro do Paraná) was sampled only in General Carneiro. The forests were exploited in different degrees and are in a regeneration process, because they were isolated by their owners. The equations were adjusted to the diameter at breast height (dbh) (measured at 1.3 m from the ground in centimeters) as an independent variable. For each area, six different equations were adjusted and evaluated. The same analysis was performed with the addition of all regions, named as "Paraná". The selection of the best models was performed applying the usual statistics tools, adjusted coefficient of determination ( $R_{aj}^2$ ), Standard error of the estimate  $S_{yx(\%)}$ , F-test and graphical residual analysis. The best fitted equation was a second degree polynomial for all separated areas as well as for the added areas (Paraná). After selecting the best equation, it was verified if the six areas could be represented by a single equation using the methodology that consists of the comparison between the complete and reduced models through the F-test. The F-test for the equation of the six study areas was not significant ( $\alpha=5\%$ ) for the reduced model of the second degree the polynomial equation. Thus, the absence of a significant difference between the complete model and the reduced model leads to the conclusion, with 95% of confidence level, that the fitting of a single equation is adequate to quantify the biomass of the six areas studied in the regions of the Mixed Ombrophilous Forest of Paraná State.

**Key-words:** Mixed Ombrophilous Forest. Regression equations. Identity of models.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MAPA DAS REGIÕES FITOGEOGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ COM AS ÁREAS DE ESTUDO.....	36
FIGURA 2 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA BIOMASSA. ....	62
FIGURA 3 – HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS PARA O MODELO DA ÁREA PARANÁ .....	63
FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS DA VALIDAÇÃO PARA A EQUAÇÃO 2 .....	67
FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DA EQUAÇÃO 2 PARA O PARANÁ.....	69

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ESQUEMA DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXECUÇÃO DO TESTE PROPOSTO POR BATES E WATTS (1988) SOBRE A IGUALDADE DE PARÂMETROS EM MODELOS DE REGRESSÃO NÃO-LINEAR .....	29
QUADRO 2 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA RELATIVA AO TESTE DE HIPÓTESE INICIAL .....	33
QUADRO 3 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA RELATIVA AO TESTE DE HIPÓTESE $H_0$ .....	70

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	37
TABELA 2 – ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS EM ESTUDO .....	41
TABELA 3 – MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS NO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE BIOMASSA .....	46
TABELA 4 – FAMÍLIAS ENCONTRADAS NA AMOSTRA ESTUDADA E SUA OCORRÊNCIA POR ÁREA. ....	52
TABELA 5 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS OBTIDAS PARA A BASE DE DADOS .....	56
TABELA 6 – ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA TOTAL EM CADA ÁREA .....	58
TABELA 7 – VALORES PONDERADOS DOS ESCORES DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS PARA AS EQUAÇÕES DE BIOMASSA TOTAL .....	60
TABELA 8 – RESULTADO DO AJUSTE DA ESTIMATIVA DE BIOMASSA DA EQUAÇÃO 2.....	63
TABELA 9 – COMBINAÇÃO DOS DADOS NO PROCESSO DE VALIDAÇÃO DOS MODELOS.....	66
TABELA 10 – ESTATÍSTICAS DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS DA VALIDAÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS, DUAS A DUAS .....	68
TABELA 11 – NÚMERO DE AMOSTRAS SELECIONADAS PARA VALIDAÇÃO DA ÁREA PARANÁ .....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR	- Araucária
BV	- Boa Ventura de São Roque
Cfb	- Clima Subtropical Úmido Mesotérmico
Cfa	- Clima Subtropical
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CT	- Castro
CV	- Coronel Vivida
CVar	- Coeficiente de Variação
<i>dap</i>	- Diâmetro a altura do peito (1,3m)
DP	- Desvio Padrão
FOM	- Floresta Ombrófila Mista
GC	- General Carneiro
GL	- Graus de Liberdade
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
QMR	- Quadrado Médio dos Resíduos
RADAMBRASIL	- Radar da Amazonia
RI	- Reserva do Iguaçu
$R^2$	- Coeficiente de Determinação
$R_{aj}^2$	- Coeficiente de Determinação Ajustado
$S_{yx}$	- Erro padrão da estimativa ou erro padrão residual
SQPar	- Soma de Quadrados da Regressão
SQRes	- Soma de Quadrados dos Resíduos
SQTot	- Soma de Quadrados Total

## LISTA DE SÍMBOLOS

© - copyright

$\Sigma$  - somatório de números

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS .....	14
1.1.1	Objetivos específicos.....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	16
2.1.1	Floresta Ombrófila Mista Aluvial .....	20
2.2	BIOMASSA.....	22
2.3	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO.....	24
2.4	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES DE BIOMASSA.....	27
2.5	IDENTIDADE DE MODELOS .....	28
2.6	APLICAÇÃO DE IDENTIDADE DE MODELOS.....	33
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	35
3.1.1	Localização Geográfica, Solo e Clima das áreas estudadas.....	35
3.1.2	Área Paraná .....	40
3.1.3	Espécies Florestais Arbóreas .....	40
3.2	AMOSTRAGEM DA BIOMASSA .....	45
3.3	ESTATÍSTICA DESCRITIVA BÁSICA.....	45
3.4	EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA.....	46
3.5	ESTATÍSTICAS DA QUALIDADE DO AJUSTE .....	46
3.5.1	Coeficiente de determinação .....	47
3.5.2	Coeficiente de determinação ajustado.....	47
3.5.3	Erro padrão da estimativa.....	48
3.5.4	Estatística <i>F</i> .....	48
3.5.5	Fator de correção de Meyer .....	49
3.5.6	Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos .....	49
3.6	VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE BIOMASSA.....	49
3.6.1	Validação das equações obtidas para cada área em estudo .....	50
3.6.2	Validação das equações para a área do Paraná.....	50
3.7	ANÁLISE DOS RESÍDUOS .....	50
3.8	IDENTIDADE DE MODELOS .....	51
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>

4.1	FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	52
4.2	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS .....	54
4.3	EQUAÇÕES .....	57
4.4	VALIDAÇÃO .....	65
4.5	IDENTIDADE DE MODELOS .....	70
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>74</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) também conhecida como Floresta com Araucária é caracterizada por uma rica diversidade florística e pela presença da principal conífera brasileira a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (IBGE, 2012).

É inegável a importância da Floresta Ombrófila Mista no Sul do país e em especial as florestas do Paraná, notadamente nas áreas de preservação ambiental que influenciam na qualidade da água e dos rios e também no aproveitamento de plantas medicinais e de outros subprodutos não madeireiros. As florestas com araucária, ocorrem predominante na região Sul do país, são de alta relevância econômica, oferecem diversos recursos madeireiros e outros produtos da floresta, além de serem consideradas símbolo para a região e forma de vínculo afetivo para o seu povo (PIRES, et al., 2012).

A Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná tem remanescentes florestais em diversos níveis de preservação e é marcada pela presença da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Atualmente o estado do Paraná possui, segundo Accioly (2013), 1.866.412,42 ha de Floresta Ombrófila Mista que corresponde a 32,62% da área original em fragmentos distribuídos em quase toda a extensão do estado.

O uso do manejo sustentado nas florestas, em geral, gera benefícios ambientais pela conservação da floresta e de toda a sua biodiversidade e também benefícios socioeconômicos, pela geração de emprego e renda, bem como por meio da recomposição de áreas degradadas, filtros biológicos para purificação da água ou a realização de projetos que se relacionem com extrativismo de produtos não madeiráveis (WATZLAWICK et al, 2012).

É necessário o contínuo estudo sobre biomassa existente e em formação nos remanescentes florestais do estado e principalmente da Floresta Ombrófila Mista. A tomada de decisões no manejo dos recursos florestais depende de informações confiáveis das condições e da quantidade de biomassa existente em uma área, floresta ou indivíduo.

A coleta de amostras destrutivas de biomassa em florestas naturais, muitas vezes, são impedidos ou dificultados de serem obtidos pela atual legislação florestal, devido à proteção dos biomas e à extensão reduzida de muitos deles. Como é o caso do presente estudo, em que algumas das áreas apresentaram um número reduzido de indivíduos amostrados, como por exemplo, Boa Ventura de São Roque, Coronel

Vivida e Reserva do Iguaçu. Mas, apesar da legislação, as amostras destrutivas da biomassa são bases para o desenvolvimento de estudos de determinação e estimativas da biomassa florestal.

A estimativa de biomassa em Florestas Naturais gera discussões e debates sobre seus resultados, pois os biomas e as áreas estudadas, dadas suas características de localização, apresentam grandes variações na biomassa. Apesar dessas diferenças, o uso e aperfeiçoamento das técnicas de estimação vem sendo aprimoradas e refinadas permanentemente permitindo que as estimativas sejam cada vez melhores.

Nesse sentido, os resultados obtidos no presente estudo poderão integrar planos de manejo e derrubadas de árvores das regiões estudadas, permitirão alimentar os bancos de dados com medidas obtidas em áreas que compreendam, por exemplo, PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas), além de fornecer uma equação que representa a estimativa de biomassa aérea para o Estado do Paraná.

Assim, o objetivo deste trabalho foi ajustar e selecionar modelos matemáticos capazes de estimar a biomassa aérea em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista de seis regiões do Estado do Paraná, localizadas nos municípios de Araucária, Boa Ventura de São Roque, Castro, Coronel Vivida, General Carneiro e Reserva do Iguaçu, bem como por meio do teste de identidade de modelos, verificar se as regiões estudadas podem ser representadas por uma única equação, representando assim o Estado do Paraná.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- a) Caracterizar a florística das regiões de estudo classificando as amostras em suas respectivas famílias;
- b) Descrever a base de dados com o cálculo das estatísticas descritivas de cada região, com relação ao *dap* e biomassa;
- c) Ajustar modelos de regressão para a estimativa da biomassa aérea para as regiões de Araucária, General Carneiro, Reserva do Iguaçu, Castro, Coronel Vivida e Boa Ventura de São Roque;

- d) Determinar qual modelo representa melhor cada uma das regiões;
- e) Realizar a validação dos modelos obtidos, para as seis regiões estudadas;
- f) Ajustar um modelo de regressão com a junção das seis áreas denominando de "Paraná";
- g) Indicar qual modelo melhor representa a junção das seis áreas;
- h) Utilizar o teste de identidade de modelos para verificar se as seis regiões podem ser representadas por uma única equação (Paraná).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é uma unidade fitoecológica pertencente ao bioma Mata Atlântica que ocorre exclusivamente no planalto meridional brasileiro, local do “clímax climácico” desta formação florestal (IBGE, 2012).

A FOM é caracterizada florísticamente pela coexistência de vegetação de origem tropical e subtropical com presença de gêneros de Coniferales e Laurales, em zona climática caracteristicamente pluvial, sem influência direta do oceano, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, onde domina a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), espécie gregária de alto valor econômico e paisagístico e de padrões fitofisionômicos típicos (RODERJAN et al., 2002).

No Brasil, a FOM ocupava originalmente uma área de cerca de 200.000 km<sup>2</sup> da superfície territorial. Desse total, cerca de 40% desta fitofisionomia ocorria na superfície do estado do Paraná, 31% em Santa Catarina, 25% no Rio Grande do Sul e em manchas esparsas no sul de São Paulo (3%), adentrando-se até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%), incluindo-se ainda pequenos remanescentes no extremo nordeste da Argentina, na província de Misiones e na região leste do Paraguai, no departamento de Alto Paraná (CARVALHO, 1994; SAWCZUK et al., 2012).

Conforme classificação do IBGE (2012), no Brasil a FOM pode ser subdividida nas seguintes formações, conforme a latitude e a altitude de ocorrência da vegetação: a Aluvial: em terraços antigos associados à rede hidrográfica; a Submontana: constituindo disjunções em altitudes inferiores a 400 m; a Montana: situada aproximadamente entre 400 e 1000 m de altitude; e a Alto-Montana: compreendendo as altitudes superiores a 1000 m.

O território do Estado do Paraná é revestido por dois tipos de vegetação original: florestas e campos. As florestas são subdivididas em tropical e subtropical e os campos, em limpos e cerrados. A floresta tropical faz parte da Mata Atlântica, que recobria toda a fachada oriental do Brasil com suas formações latifoliadas.

Existem várias classificações quanto à ocupação das terras no Paraná, algumas defendem que a ocupação primitiva era de 46% de floresta tropical, incluindo as porções mais baixas (baixada litorânea, encostas da Serra do Mar, vales do

Paraná, Iguazu, Piquiri e Ivaí) ou de menor latitude (toda a parte setentrional do Estado) e outras que 83% eram cobertos por florestas e 17% ocupados por formações não florestais (campos e cerrados), completados por vegetações pioneiras de influência marinha (restingas), fluviomarinha (mangues) e flúvio-lacustre (várzeas) e também pela vegetação herbácea nas altitudes (MAACK, 1981).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação da Vegetação (IBGE, 2012) baseado no sistema fisionômico-ecológico, as formações vegetais encontradas no Paraná foram denominadas de Estepe (região dos Campos Gerais), Savana (região de cerrados), Floresta Ombrófila Mista (floresta com Araucária), Floresta Ombrófila Densa (floresta Atlântica) e a Floresta Estacional Semidecidual (floresta pluvial tropical-subtropical).

Segundo Leite (1994), no Paraná, além da formação aluvial às margens de corpos d'água, a FOM possui sua subformação Montana ocorrente a altitudes entre 500-1000 m e a subformação Alto-Montana, a partir de 800 m de altitude, até acima de 1200 m, em casos raros, nos chamados refúgios ecológicos alto-montanos. De acordo com o mesmo autor, esta cota parece ser mais adequada para esta subformação, levando-se em conta a análise dos parâmetros térmicos do planalto e sua integridade ambiental em consonância com a distribuição florística.

De acordo com Ivanauskas e Assis (2009), a FOM apresenta estrutura bem definida e estratificada, com estrato emergente ocupado naturalmente de modo praticamente exclusivo pela araucária, que atinge alturas médias de 30 m, podendo apresentar indivíduos de até 40 m. O dossel atinge de maneira geral 20 m de altura, sendo ocupado predominantemente por espécies folhosas de Myrtaceae e Lauraceae, além da presença comum do Pinheiro-brabo (*Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl.) que, segundo os autores, só perde em valor de importância para a araucária.

Do ponto de vista florístico, os estratos inferiores da Floresta Ombrófila Mista são formados geralmente por inúmeras espécies de Myrtaceae, especialmente dos gêneros *Myrcia*, *Eugenia*, *Calyptanthes* e *Gomidesia*, juntamente com espécies de Salicaceae (*Casearia* e *Xylosma*), Sapindaceae (*Allophylus* e *Cupania*), Rutaceae, Symplocaceae e Aquifoliaceae. A ocorrência de fetos arborescentes (*Dicksonia* e *Cyathea*) e gramíneas cespitosas (*Chusquea* e *Merostachys*) são frequentes, com epifitismo presente, no entanto, de modo não muito expressivo (RODERJAN et al., 2002).

Para Maack (1981), as espécies mais representativas e importantes que ocorrem em elevado grau de associação com araucária na FOM são: *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso (imbuia) e *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (erva-mate), além de lauráceas como as dos gêneros *Nectandra* e *Ocotea*, as leguminosas dos gêneros *Dalbergia* e *Machaerium*, as meliáceas principalmente *Cedrela fissilis* Vell. (cedro-rosa), as mirtáceas como *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O.Berg (guabiroba) e *Eugenia uniflora* L. (pitanga), além do pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii*) e a palmácea *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman (jerivá).

Entre os séculos XIX e XX ocorreu uma grande diminuição as áreas ocupadas pela FOM no sul do Brasil, devido a exploração madeireira de araucária e de espécies associadas, como a imbuia e espécies não madeireiras, como do xaxim (*Dicksonia sellowiana* Hook.), tendo as áreas florestadas sido gradativamente substituídas por áreas agrícolas. Este período foi marcado pela expansão da indústria madeireira, na qual a FOM constituiu a área mais significativa para a este fim no Sul do Brasil, entre as décadas de 1950 e 1960, principal período do ciclo da madeira, que marcou o desenvolvimento do setor durante mais de um século de exploração (BACKES, 2001; REIS et al., 2007).

De acordo com Higuchi et al. (2012), outra fonte de perturbação recorrente, além da retirada de madeira, é a utilização de remanescentes de FOM para a criação de gado, principalmente devido à prática de utilização do interior destes fragmentos florestais como abrigo e fonte de alimentos para os animais durante os períodos desfavoráveis, como no inverno.

Além disso, a necessidade de áreas para o desenvolvimento das atividades agrícola e pecuária aumentou a pressão sobre a FOM, levando a redução da área de ocupação original a fragmentos florestais de diferentes formas, tamanhos e níveis de perturbação. Segundo Sanquetta (2005), até a metade dos anos 2000, os remanescentes em estágio avançado de sucessão, somavam menos de 1% da área que existia originalmente no Paraná.

De acordo com Sonego et al. (2007), a FOM no sul do Brasil encontra-se em raros e diminutos remanescentes, muitos deles profundamente alterados e encontrados em locais de difícil acesso, como em áreas particulares ou nas poucas unidades de conservação existentes, sendo a continuidade e manutenção do sistema florestal um dos maiores desafios para os programas de conservação.

Algumas práticas contribuíram para a redução das reservas naturais de espécies desse tipo de formação vegetal. Pode-se citar a exploração intensiva de madeiras de grande valor econômico como a *Araucaria angustifolia* (pinheiro), *Ocotea porosa* (imbuia), *Luehea divaricata* (açoita-cavalo) e *Cedrela fissilis* (cedro) e até mesmo a exploração de produtos secundários de espécies não-madeiráveis como *Dicksonia sellowiana* (xaxim) e *Maytenus ilicifolia* (espíneira santa). Estudos sobre a composição das formações vegetais fornecem informações básicas para aplicação de técnicas de manejo florestal e estabelecimento de planos de conservação que sejam eficientes para esses ecossistemas (KANIESKI et al., 2010).

Jarenkow e Batista (1987) descrevem a ocorrência de três estratos arbóreos descontínuos na Floresta Ombrófila Mista, o primeiro dominado pelo pinheiro brasileiro com alturas de até 28 metros, um segundo estrato entre 12 e 19 metros de alturas e, um terceiro estrato com alturas distribuídas entre 5 e 12 metros.

Em alguns trabalhos desenvolvidos por Senna e Waechter (1997), das espécies epífitas a maior participação é de espécies vegetais das famílias Aspleniaceae, Polypodiaceae e Hymenophyllaceae que dão aspecto de “matas pretas” a esse tipo de floresta. Os estratos médio e inferior possuem grande diversidade de espécies e são considerados centros de dispersão de uma boa parte de espécies, principalmente as das famílias Myrtaceae e Lauraceae (NASCIMENTO et al., 2001).

No Rio Grande do Sul (RS), Longhi (1997) estudou o agrupamento de comunidade vegetais da Floresta Ombrófila Mista na bacia do Rio Passo Fundo e por meio de técnicas estatísticas multivariadas, agrupou a vegetação em seis diferentes grupos. Cada agrupamento tinha uma composição de espécies características. As comunidades mais avançadas de associações naturais encontradas por aquele autor foram de *Nectandra megapotamica* (Canela-preta) e *Araucaria angustifolia* (Pinheiro), no que dizia respeito à elevada densidade dessas espécies em cada associação.

Segundo Leite e Klein (1990), a Floresta Ombrófila Mista tem uma estrutura bastante variável, algumas vezes com agrupamentos densos com abundância de Lauraceae, outras com agrupamentos pouco desenvolvidos com predomínio de *Podocarpus*, *Drymis* e *Aquifoliaceae*.

### 2.1.1 Floresta Ombrófila Mista Aluvial

Segundo Socher (2004) existem diferentes nomenclaturas para esse tipo de vegetação, sendo os mais comuns: floresta ciliar, mata ciliar, floresta de galeria, florestal aluvial, floresta ripária, dentre outras.

Sua formação se caracteriza por ser ribeirinha, sempre ocupando terrenos aluviais, nos flúvios das serras costeiras voltadas para o interior ou dos planaltos dominados por *Araucaria angustifolia*. As espécies associadas à *Araucaria angustifolia* (araucária) podem variar de acordo com a situação geográfica e altitude. Segundo levantamento do IBGE (2012) as espécies predominantes são aquelas típicas das altitudes, como por exemplo, *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. (pinheiro-bravo) e *Drimys brasiliensis* Miers (cataia). Porém, à medida que a altitude vai diminuindo, a *Araucaria angustifolia* aparece associada a diversos tipos de Angiospermae da família Lauraceae nas disjunções da Serra da Mantiqueira.

No sul do Brasil, a Floresta Aluvial é constituída principalmente pela *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Luehea divaricata* Mart. ex Zucc (açoita-cavalo) e *Blepharocalyxn salicifolius* (Kunt) O. Berg (murta) no estrato emergente e por *Gymnanthes klotzschiana* Müll.Arg.(branquilho) no estrato arbóreo contínuo (VELOSO, 1991).

As Florestas Ombrófilas Mistas Aluviais ocorrem geralmente em correlação com a insuficiência de drenagem dos terrenos que dificultam a descarga dos grandes volumes de água característicos de regiões ombrófilas (SOCHER, 2004).

O papel desse tipo de ambiente vem sendo discutido por muitos autores e todos abordam um ponto em comum, os ambientes ripários constituem condição básica para garantir a manutenção da integridade dos processos hidrológicos e ecológicos locais. Segundo Durigan e Leitão Filho (1995), a destruição e a fragmentação das florestas ciliares têm diversas consequências, dentre elas a diminuição da diversidade biológica, o distúrbio do regime hidrológico de bacias hidrográficas, a degradação dos recursos naturais, além da deterioração da qualidade de vida das populações tradicionais.

Com relação à diversidade de espécies presentes nesse tipo de Floresta, Galvão et al. (1989), em uma pesquisa realizada ao longo dos rios Ibituva e das Antas, na Floresta Nacional de Irati, no Segundo Planalto paranaense, na Floresta Ombrófila Mista, constataram a predominância do branquilho (*Gymnanthes*



*klotzschiana* Müll.Arg.), seguido do timbó (*Lonchoparpus* sp.), vacum (*Allophyllus edulis*), pitanga (*Eugenia uniflora*), guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*) e miguel-pintado (*Matayba elaeagnoides*), que juntos representam 85% da densidade total da comunidade.

Em estudo realizado por Leite (1994), as espécies que se destacam neste tipo de formação são *Myrcia bombycina* (guamirim-do-campo), *Myrceugenia euosma* (guamirim), *Calyptranthes concinna* (guamirim-de-facho), *Gymnanthes klotzschiana* Müll.Arg. (branquilho), *Lithraea brasiliensis* (pau-de-bugre), *Schinus terebinthifolius* (aroeira), *Ilex paraguariensis* (erva-mate), *Ilex theezans* (caúna), *Podocarpus lambertii* (pinhobravo) e *Drimys brasiliensis* (cataia), além de outras presentes com menor representatividade.

Oliveira (2001), em levantamento na floresta aluvial do rio Quebra-Perna, região dos Campos Gerais do Paraná, onde mediu 10 parcelas de 50 m<sup>2</sup> cada, posicionadas em paralelo ao sentido do curso d'água, encontrou 6 famílias, 12 gêneros e 14 espécies, sendo a mais representativa em densidade, dominância e frequência, *Gymnanthes klotzschiana* Müll.Arg.(branquilho). Na análise de componentes principais, cerca de 75% do valor de importância correspondeu a apenas 4 espécies: *Gymnanthes klotzschiana* Müll.Arg. (branquilho), *Calyptranthes concinna* (guamirim-de-facho), *Lithraea molleoides* (falso-bugreiro) e *Myrcia rostrata* (guamirim de folha miúda), dos quais as duas primeiras correspondem a 66,5% do valor de importância da comunidade. As famílias botânicas que mais se destacaram foram Euphorbiaceae, Myrtaceae, Anacardiaceae e Lauraceae, sendo as duas primeiras responsáveis por 87,1% do valor de importância total. As árvores mortas totalizaram o terceiro maior valor de importância da comunidade naquele trabalho.

Um estudo florístico e fitossociológico foi realizado por Oliveira (2001) em seis compartimentos em ambiente fluvial (duas em encosta e quatro em planície) próximo ao rio Lageado, Jaguariaíva (PR), com áreas amostrais variando de 200 a 750 m<sup>2</sup>. Nas situações na qual saturação hídrica foi mais elevada (maior hidromorfia), *Gymnanthes klotzschiana* Müll. Arg. (branquilho) foi a espécie com maior valor de importância, sendo que quando a hidromorfia foi menor, destacou-se *Myrcia breviramis* (guamirim).

## 2.2 BIOMASSA

Em termos de conceituação, biomassa pode ser definida como a massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. Já a biomassa florestal representa toda a biomassa existente na floresta ou em algum compartimento que a compõe, podendo também ser denominada de fitomassa (SANQUETTA, 2002). A quantificação da biomassa, medida em quantidade de peso de matéria seca por unidade de superfície e tempo, representa a produtividade do ecossistema (SOCHER, 2004). Os estudos de biomassa florestal são feitos com objetivo de quantificar a ciclagem de nutrientes, quantificação para fins energéticos e como base de informação para estudos de sequestro de carbono (PÁSCOA et al., 2004).

Verificou-se o aumento do número de estudos e análises referentes não somente à preservação da biodiversidade das áreas florestais no planeta, mas também relacionados ao clima. As conclusões mostraram que a concentração do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a temperatura da atmosfera aumentaram conjuntamente nas últimas dezenas de milhares de anos provocando mudanças climáticas (SILVEIRA et al., 2008).

Nesse sentido, buscam-se cada vez mais estratégias para redução da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, dentre elas pode-se citar a redução das emissões por queima de combustíveis fósseis, a redução da queima de material vegetal e o sequestro de carbono pelo plantio de florestas (CARVALHO et al., 2010).

O volume de biomassa florestal e sua distribuição são fatores controladores do estoque de carbono global e servem de base para a predição futura da mudança climática. Assim, torna-se necessário desenvolver ou utilizar metodologias que possibilitem a obtenção de estimativas da quantidade desse elemento em uma floresta, em diferentes partes de uma árvore. Salomão et al. (1996) acreditam que para avaliar os teores de carbono dos componentes da vegetação (parte aérea, raízes, camadas decompostas sobre o solo, entre outros) e contribuir para estudos de balanço energético e do ciclo de carbono, é preciso antes quantificar a biomassa vegetal de cada componente da vegetação.

Russo (1983) relaciona seis fatores que afetam a biomassa e a produtividade, sendo eles: idade do povoamento, variabilidade genética, nutrição, altitude, umidade do solo e desbastes. O total de biomassa acima do solo também pode variar por região

geográfica, tipo de região (úmida, encharcada ou seca), tipo florestal, estrutura florestal e grau de distúrbio da floresta.

De acordo com Schneider (2004), geralmente a parte aérea das árvores tem sua biomassa distribuída na seguinte ordem: lenho>galhos>casca>folhas. Pode existir uma variação atribuída a diferentes fatores, como características da espécie e fatores edafoclimáticos.

Podem-se dividir os métodos de estimativa de biomassa em dois tipos: diretos e indiretos. O primeiro diz respeito ao peso de todas as árvores derrubadas em uma parcela fixa e o segundo baseia-se em dados provenientes de inventários florestais, executados com a finalidade de planejar a exploração e o manejo florestal, onde a variável é o volume de madeira (WATZLAWICK, 2003). Segundo Sanquetta (2002) quando utilizado o método indireto, deve-se atentar para o ajuste e calibração prévia das equações, devendo ser empregado em conjunto com o método direto. O método direto de amostragem tem sido utilizado por Higuchi et al. (1998), Schumacher (2002), Watzlawick (2003) e Vogel (2006).

Foram realizados trabalhos usando dados de estimativa de volume e biomassa em diferentes partes das árvores, convertidas em quantidades de carbono pela utilização de fatores de conversão, principalmente devido ao elevado custo para obter esse dado de forma direta. Dentre os trabalhos realizados pode-se citar Cooper (1983), Brown e Lugo (1984), Brown, Lugo e Chapman (1986) e Schroeder (1992).

Os métodos diretos de amostragem de biomassa podem ser divididos em duas categorias, segundo Sanquetta (2002), método da árvore individual e método da parcela. O método individual é feito usando uma árvore média, sendo que para conhecer essa árvore, é preciso realizar um inventário florestal piloto e calcular o diâmetro ou a área seccional ou transversal dessa árvore. Depois de escolhida a árvore, faz-se a derrubada dela e determina-se a biomassa de um número de indivíduos que se constituem na amostra. O método da parcela é feito cortando-se e pesando-se toda a biomassa de uma área pré-definida, pelo procedimento do corte total, em que se determina toda a biomassa da floresta pelo corte e pesagem de todas as frações, incluindo as raízes, passo a passo.

Os métodos indiretos de avaliação da biomassa em campo podem ser feitos utilizando dados de volume de árvores ou talhões multiplicados por um fator apropriado, denominado de fator de biomassa ( $BF$ ) que convertem (expandem ou

reduzem) as estimativas de volume para estimativas de biomassa (SOMOGYI et al., 2006):

$$B = P.(BF) \quad (1)$$

em que:

*B*: biomassa em quilos ou toneladas

*P*: parâmetro de uma árvore ou talhão, por exemplo, volume em m<sup>3</sup>

*BF*: fator apropriado da biomassa utilizado na conversão

Outra forma de determinação indireta da biomassa é realizando ajuste de equações pelo uso de técnicas de regressão (SOMOGY et al., 2006). Koehler et al. (2002) consideram o procedimento mais comumente utilizado para tal. Algumas árvores são amostradas, o peso de cada componente é determinado e relacionado por meio de regressão com variáveis dendrométricas:

$$B = f(P1, P2, \dots p1, p2 \dots) \quad (2)$$

em que:

*B*: biomassa em quilos ou toneladas

*P*: variáveis dendrométricas disponíveis (diâmetro, altura, etc.)

*p*: parâmetros do modelo

Ainda, outras formas de estimativa de biomassa são por classe de diâmetro ou por técnicas de sensoriamento remoto.

### 2.3 EQUAÇÕES DE REGRESSÃO

Nos estudos de quantificação de biomassa e carbono, as equações de regressão são chamadas de equações alométricas, que nada mais são do que o estudo das variações das formas e dos processos dos organismos e tem dois significados: (i) o crescimento de uma parte do organismo em relação ao crescimento do organismo inteiro ou parte dele e (ii) o estudo das consequências do tamanho sobre as formas e os processos.

Como a maioria dos fenômenos naturais tem comportamento não-linear, a utilização de modelos não-lineares produz estimativas mais exatas do que os lineares (SANTOS, 1996). Em se tratando de manejo florestal é indicado o uso de modelos não-lineares fundamentando-se no crescimento de uma árvore individual e em consequência, da floresta, que tem tendência não-linear e sigmoideal (REGAZZI, 1993).

A utilização de equações de regressão é vantajosa, pois são obtidas estimativas de biomassa sem a necessidade de utilizar métodos destrutivos. Porém, uma desvantagem do método é que geralmente não se tem dados de todas as classes de diâmetro, considerando que os inventários florestais visam somente a parte comercial de uma floresta, desprezando árvores pequenas e que podem representar até 30% da biomassa de uma floresta (BROWN, 1997).

As variáveis mais utilizadas em estudos de biomassa e carbono são o diâmetro à altura do peito (*dap*) e a altura total. Alguns autores como Overman et al., (1994) e Chave et al., (2005) defendem a inclusão da densidade da madeira como variável independente, porém essa questão esbarra na relação custo-benefício. Dependendo do número de variáveis independentes, o modelo pode ser simples ou múltiplo e dependendo da natureza das equações, lineares ou não-lineares.

Brown, Gillespie e Lugo (1989) criaram equações de regressão de uso global para estimar biomassa viva acima do solo em florestas tropicais. Eles utilizaram dados de campo de inventários florestais de larga escala realizados anteriormente em quatro países, com três tipos de floresta (secas, úmidas e alagadas). O estudo concluiu que as estimativas de biomassa em florestas tropicais podem ser melhoradas quando baseadas em inventários florestais, pois o volume de dados destes inventários é mais abundante e são coletados em grandes áreas quando comparado com estudos que medem biomassa pelo método direto em florestas tropicais. A recomendação do uso destas equações em florestas tropicais como um todo exige cautela na aplicação em regiões específicas.

A escolha de um dos tipos de equação é função da experiência em sua utilização, da relação entre as variáveis ou por recomendação da literatura. Os modelos podem ser descritos conforme segue:

- linear (erro aditivo):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_j X_j + \varepsilon \quad (3)$$

- não-linear (erro aditivo):

$$Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} \cdot X_2^{\beta_2} \dots X_j^{\beta_j} + \varepsilon \quad (4)$$

- não-linear (erro multiplicativo):

$$Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} \cdot X_2^{\beta_2} \dots X_j^{\beta_j} \cdot \varepsilon \quad (5)$$

nas quais:

$Y$  = total da biomassa/carbono ou por componente

$X_j$  = variável independente ou dendrométrica

$\beta_j$  = parâmetros do modelo

$\varepsilon$  = erro aleatório

Para um conjunto de dados podem ser ajustados diversos modelos de regressão e a seleção de uma equação pode ser feita utilizando critérios estatísticos, como o coeficiente de determinação, o erro padrão da estimativa, a distribuição dos resíduos e a estatística F (SCHNEIDER, 1997).

Vários fatores devem ser usados em estimativas de biomassa segundo Somogy et al. (2006), dependendo dos dados disponíveis (árvores ou talhões) e da estimativa desejada. Quando utilizados dados de densidade da madeira, usa-se somente um fator de conversão, mas quando a estimativa é total da biomassa e apenas dados de biomassa comercial estão disponíveis, usa-se um fator de expansão. Portanto, fatores de biomassa podem ter apenas um componente de expansão ou um componente de conversão, ou ambos podem estar incluídos em um valor combinado (SILVEIRA et al., 2008).

Nogueira et al. (2008) encontraram em seu estudo que comparou a equação alométrica com outras três equações disponíveis na literatura, uma divergência da biomassa por hectare de 6 a 18,7% quando comparada com a biomassa gerada pelas outras equações. No mesmo estudo, observaram que equações desenvolvidas para florestas densas podem resultar em superestimativas de biomassa quando aplicadas em florestas abertas. Portanto, o tipo de floresta também influencia na escolha da equação alométrica a ser utilizada.

Koehler et al. (2002) realizaram um estudo para verificar as fontes de erros nas estimativas do potencial de carbono e comprovaram as afirmações feitas por Higuchi e Carvalho Júnior (1994), ajustando equações de regressão para gerar estimativas utilizando dados de biomassa gerados de amostragem de campo em Floresta Ombrófila Mista, no Paraná. Na comparação desses dados com as estimativas, observaram que estas subestimam em 12,28% a quantidade de biomassa real.

#### 2.4 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES DE BIOMASSA

Segundo Cunia (1986), uma questão que não pode deixar de ser mencionada quando se utilizam equações de regressão para estimativa de biomassa é aquela relacionada aos erros que estão inseridos nessas estimativas.

Silveira et al. (2008) cita outros autores (Couto, 1977; Draper e Smith, 1981; Ahrens, 1980; Montgomery e Peck, 1982) que adotaram critérios para seleção dos melhores modelos de regressão para populações florestais:

- exame do quadro da análise de variância, soma do quadrado dos resíduos (SQRes), quadrado médio dos resíduos (QMRes), teste “F” para o modelo completo e teste “F” sequencial;

- análise das medidas de exatidão: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro padrão da estimativa ou erro padrão residual ( $S_{yx}$ ) e erro padrão da estimativa expresso como uma porcentagem da média aritmética da variável dependente ( $S_{yx(\%)}$ ), sendo, neste caso, interpretado de forma análoga ao coeficiente de variação;

- distribuição geográfica dos valores residuais;

- exame das estimativas dos parâmetros da equação pelo teste “t”.

Sanquetta (2002), em estudo de modelos para populações florestais, recomendou que no ajuste de equações em estudos de biomassa e carbono, deve-se ter o cuidado sempre de avaliar as melhores equações, por meio de avaliação estatística indicadora da qualidade de ajuste (erro padrão da estimativa, coeficiente de determinação, etc), além de um exame gráfico do comportamento dos resíduos.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a quantidade de variação total explicada pela regressão. Assim, seleciona-se a equação que apresenta o maior valor de  $R^2$ . Já o erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) representa a dispersão entre os valores observados e estimados, sendo desejável que ele tenha o menor valor. A análise

gráfica da distribuição dos resíduos entre a variável dependente estimada e observada permite observar possíveis tendências no ajuste ao longo da linha de regressão, sendo os resíduos calculados como a diferença entre a variável dependente observada e a estimada (MACHADO et al., 2008). A estatística F mostra o quanto o modelo ajustado representa a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes, sendo preferíveis modelos com estatística F elevada (SCHNEIDER, 1997).

## 2.5 IDENTIDADE DE MODELOS

Em estudos de análise de regressão, muitas vezes deseja-se saber se um conjunto de “H” equações ajustadas são idênticas e se o fenômeno pode ser representado por uma equação comum (REGAZZI, 1993). A identidade de modelos permite exatamente isso, testar hipóteses relativas à identidade de modelos lineares e não-lineares. Os modelos lineares são utilizados pela facilidade em descrever o relacionamento aproximado, enquanto os modelos não-lineares tratam do relacionamento entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes, baseado em conhecimentos teóricos do problema tratado (REGAZZI; SILVA, 2004).

Bates e Watts (1988) apresentaram um teste baseado na razão de verossimilhança para comparar modelos de regressão não-linear, com aproximação dada pela estatística F (QUADRO 1), conforme a seguir:

$$F_0 = \frac{(S_p - S_f)/v_e}{S_f/v_f} \sim F(v_e; v_f) \quad (6)$$

em que  $S$  = soma dos quadrados residuais,  $v$  = número de graus de liberdade,  $f$  = modelo completo,  $p$  = modelo reduzido,  $e$  = extra.

Ressaltando que para modelos de regressão não-linear esta análise é apenas aproximada, porque a razão entre os quadrados médios não tem uma distribuição F exata (SOUZA, 1998). O teste a um nível de significância  $\alpha$ , da hipótese  $H_0$  de que o modelo reduzido é adequado, consiste em rejeitar  $H_0$  se  $F_0 \geq F_\alpha(v_e; v_f)$ .



QUADRO 1 – ESQUEMA DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA EXECUÇÃO DO TESTE PROPOSTO POR BATES E WATTS (1988) SOBRE A IGUALDADE DE PARÂMETROS EM MODELOS DE REGRESSÃO NÃO-LINEAR

Causas de variação	GL	SQ	QM	$F_o$
Parâmetros extras	$v_e = P_f - P_p$	$S_e = S_p - S_f$	$\frac{S_e}{v_e}$	$\frac{(S_p - S_f)/v_e}{S_f/v_f}$
Modelo completo	$v_f = N - P_f$	$S_f$	$\frac{S_f}{v_f}$	
Modelo reduzido	$v_p = N - P_p$	$S_p$		

FONTE: BATES e WATTS (1988)

no qual:  $S$  = soma de quadrados residuais;  $v$  = número de graus de liberdade;  $P$  = número de parâmetros;  $N$  = número total de observações;  $f$  = modelo completo;  $p$  = modelo reduzido e  $e$  = extra.

Regazzi (1993) demonstrou que a identidade de modelos de regressão e igualdade de qualquer subconjunto de parâmetros pode ser verificada por meio do teste “F” e que a metodologia apresentada é geral e pode ser usada em modelos polinomiais de qualquer grau, ortogonal ou não, e também em modelos de regressão múltipla.

Exemplificando:

O ajuste do modelo de regressão linear dado por:

$$\begin{aligned}
 y_{1i} &= c_{01} + c_{11}x_{11i} + c_{21}x_{21i} + \dots + c_{k1}x_{k1i} + e_{1i} & i = 1, 2, \dots, n_1 \\
 y_{2i} &= c_{02} + c_{12}x_{12i} + c_{22}x_{22i} + \dots + c_{k2}x_{k2i} + e_{2i} & i = 1, 2, \dots, n_2 \\
 &\vdots \\
 y_{Hi} &= c_{0H} + c_{1H}x_{1Hi} + c_{2H}x_{2Hi} + \dots + c_{kH}x_{kHi} + e_{Hi} & i = 1, 2, \dots, n_H
 \end{aligned} \tag{7}$$

em que:

$y_{hi}$  :  $i$ -ésima observação do  $h$ -ésimo modelo, sendo,  $i = 1, 2, \dots, n_h$  observações e  $h = 1, 2, \dots, H$  o número de modelos;

$x_{khi}$  :  $i$ -ésimo valor da  $k$ -ésima variável explicativa do  $h$ -ésimo modelo, sendo,  $i = 1, 2, \dots, n_h$  observações;  $k = 1, 2, \dots, K$  variáveis e  $h = 1, 2, \dots, H$  o número de modelos;

$c_{kh}$  :  $k$ -ésimo parâmetro do  $h$ -ésimo modelo, sendo  $k = 1, 2, \dots, K$  variáveis e  $h = 1, 2, \dots, H$  o número de modelos;

$e_{hi}$  : é o erro aleatório, associado à  $i$ -ésima observação do  $h$ -ésimo modelo, sendo supostos independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância comum  $\sigma^2$ .

Empregando a notação matricial, o  $h$ -ésimo modelo admite a seguinte forma:

$$Y_h = X_h \cdot \beta_h + \varepsilon_h \quad (8)$$

em que:

$Y_h$  : vetor de observações, de dimensões  $n_h \times 1$ , sendo  $n_h$  o número de observações do  $h$ -ésimo modelo;

$X_h$  : matriz das variáveis explicativas, de dimensões  $n_h \times (K + 1)$ , sendo  $K + 1$  o número de variáveis explicativas;

$\beta_h = \begin{bmatrix} c_{0h} \\ c_{1h} \\ \vdots \\ c_{Kh} \end{bmatrix}$  : vetor de parâmetros, de dimensões  $(K + 1) \times 1$ , sendo  $K + 1$  o

número de parâmetros;

$\varepsilon_h$  : vetor de erros aleatórios, de dimensões  $n_h \times 1$ .

Segundo Regazzi (1993), a identidade de modelos trata-se de um teste geral que verifica a igualdade de um conjunto de equações de regressão, sob a hipótese de nulidade:

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_H = \beta$  (as  $H$  equações são idênticas) e os modelos reduzem-se a forma:

$$Y_h = X_h \cdot \beta + \varepsilon_h \quad (9)$$

em que  $\beta$  representa o conjunto de parâmetros comuns. Utilizando a notação matricial o modelo reduzido pode ser escrito como:

$$\underline{Y} = \underline{Z} \underline{\theta} + \underline{\varepsilon} \quad (10)$$

em que:

$\underline{Y}$  é o vetor dos valores observados da variável dependente, de dimensões  $N \times 1$ , para o qual:  $\sum_{h=1}^H n_h = N$ ;

$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_H \end{bmatrix} \quad \text{na qual } X_h \text{ com } h= 1, 2, \dots, H, \text{ de dimensões } N \times p, \text{ e } p = K + 1;$$

$$\underline{\theta} = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_K \end{bmatrix} \quad \text{é o vetor dos parâmetros comuns, de dimensões } p \times 1;$$

$\varepsilon$  é o vetor de erros aleatórios, de dimensões  $N \times 1$ .

O sistema de equações normais relativo ao modelo reduzido, obtido pelo método dos mínimos quadrados, é:

$$\underline{Z}'\underline{Z}\hat{\underline{\theta}} = \underline{Z}'\underline{Y} \quad (11)$$

Sendo  $\underline{Z}'\underline{Z}$ , matriz de dimensões  $p \times p$  e não singular, o estimador do vetor de coeficientes comuns tem a seguinte expressão:

$$\hat{\underline{\theta}} = (\underline{Z}'\underline{Z})^{-1}\underline{Z}'\underline{Y} \quad (12)$$

em que  $(\underline{Z}'\underline{Z})$  é a matriz composta pela soma das matrizes  $(X'_h X_h)$  de cada modelo, bem como a matriz  $(\underline{Z}'\underline{Y})$ , o estimador do vetor dos parâmetros comuns.

A soma de quadrados da regressão, relativa ao modelo reduzido (11), é dada por:

$$\text{SQPar}(r_1) = \hat{\underline{\theta}}' \underline{Z}'\underline{Y} \quad (13)$$

com  $p$  graus de liberdade.

A soma de quadrados total não corrigida é dada por:

$$\text{SQTot}(r_1) = \underline{Y}'\underline{Y} = \left[ \sum_{h=1}^H \underline{Y}'_h \underline{Y}_h \right] \quad (14)$$

com  $N$  graus de liberdade.

A soma de quadrados do resíduo relativa ao modelo reduzido é obtida pela diferença entre (14) e (13), ou seja,

$$\text{SQRes}(r_1) = \underline{Y}'[I - Z(Z'Z)^{-1}Z']\underline{Y} \quad (15)$$

com  $(N - p)$  graus de liberdade.

O teste para verificar se as equações são idênticas é baseado na diferença entre a soma de quadrados de regressão do modelo completo e do modelo reduzido, ou seja, na redução que  $H_0$  provoca na soma de quadrados de regressão do modelo completo. Assim a redução devida à hipótese  $H_0$ , denotada por Redução ( $H_0$ ), é obtida pela diferença entre

$$\text{SQPar}(c) = \underline{\hat{\beta}}X'Y \quad \text{e} \quad \text{SQPar}(r_1) = \underline{\hat{\theta}}'Z'Y$$

ou seja:

$$\text{Redução}(H_0) = \text{SQPar}(c) - \text{SQPar}(r_1) \quad (16)$$

com  $(H - p) \cdot p$  graus de liberdade.

Segundo Graybill (1976), para testar a hipótese de nulidade:

$$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_H = \beta$$

A estatística usada é a F central, com  $(H - 1) \cdot p$  e  $(N - H \cdot p)$  graus de liberdade e o  $F_o$  é dado por:

$$F_o = \frac{[\text{SQPar}(c) - \text{SQPar}(r_1)] / (H - 1) \cdot p}{\text{SQRes}(c) / (N - H \cdot p)} \quad (17)$$

No QUADRO 2 encontram-se resumidos os procedimentos utilizados:

QUADRO 2 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA RELATIVA AO TESTE DE HIPÓTESE INICIAL.

Fonte de variação	GL	SQ	Q M	$F_o$
Parâmetros ( $\underline{\beta}$ )	$(H \cdot p)$	$Q_1 = \underline{\hat{\beta}}' X' Y$		
Parâmetros ( $\underline{\theta}$ )	$p$	$Q_2 = \underline{\hat{\theta}}' Z' Y$		
Redução ( $H_0$ )	$(H - 1) \cdot p$	$Q_3 = Q_1 - Q_2$	$V_1 = \frac{Q_3}{(H - 1) \cdot p}$	$\frac{V_1}{V_2}$
Resíduo	$(N - H \cdot p)$	$Q_4 = Q_5 - Q_1$	$V_2 = \frac{Q_4}{(N - H \cdot p)}$	
Total	$N$	$Q_5 = Y' Y$		

FONTE:REGAZZI (1993)

Assim rejeita-se  $H_0$  se e somente se  $F_o \geq F_\alpha$  e a não rejeição da hipótese de nulidade permite concluir que, para um nível de significância  $\alpha$ , as  $H$  equações não diferem entre si. Logo a equação ajustada com as estimativas dos coeficientes comuns pode ser usada como uma estimativa das  $H$  equações envolvidas (Regazzi, 1993).

Em 2003, Regazzi utilizou o teste da razão de verossimilhança para provar a aplicação desse teste em modelos de regressão não-linear, com aproximação dada pela estatística qui-quadrado ( $\chi^2$ ), considerando apenas um valor observado de  $Y$  para cada um de  $X$ . Regazzi e Silva (2004) utilizaram esse mesmo teste da razão de verossimilhança com aproximações pelas estatísticas do qui-quadrado e  $F$  para testar a hipótese de igualdade de subconjunto de parâmetros e também, a identidade de modelos de regressão não-linear para dados com repetições de experimentos com delineamento inteiramente casualizado. Assim, eles concluíram que em amostras suficientemente grandes ( $N > 120$ ), as duas aproximações são praticamente equivalentes. Para amostras menores, a aproximação pela estatística  $F$  deve ser preferida, principalmente por controlar mais a taxa de erro tipo I, independente do valor de  $N$ .

## 2.6 APLICAÇÃO DE IDENTIDADE DE MODELOS

A aplicação da identidade de modelos ocorre nas mais diversas áreas do conhecimento, nas quais os modelos lineares não são apropriados. Nas Ciências Biológicas, a área de modelagem de crescimento é uma delas, em que pode ser

necessário ajustar funções não-lineares para melhor explicar o processo de crescimento (REGAZZI e SILVA, 2004).

Na área florestal, mais especificamente nos inventários florestais, as variações dos povoamentos florestais como a espécie, o sítio, a densidade e a idade, geram um número grande de equações, o que dificulta o trabalho do profissional. Ao estudar diferentes situações experimentais admitindo um modelo para cada situação, pode-se verificar se os modelos são idênticos, mostrando possível ou não a representação do conjunto de equações por meio de uma equação comum. No trabalho desenvolvido por Kurchaidt (2014), com quatro parcelas permanentes de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, no Estado do Paraná nos anos de 1995/ 2000/2005/2010, observa-se que foi utilizado a identidade de modelos para curva do coletor (curva espécie-área), porém não foi possível representar as quatro áreas com apenas uma equação.

Na área Médica/Biomédica, as pesquisas consistem de aplicações em dados biológicos, epidemiológicos e clínico e podem exigir a adequação de diversos modelos alternativos de previsão de comportamentos de sistemas, construídos a partir de recursos e técnicas avançadas de simulação de dados, possibilitando uma representação matemática, gráfica ou simbólica de um fenômeno, a identidade de modelos é bastante útil.

Em Ciências Veterinárias, os modelos não-lineares geralmente fornecem bons ajustes, além de apresentarem parâmetros ou funções destes com interpretação biológica, o que facilita o estudo do peso dos animais adultos, da velocidade de crescimento e de pontos críticos de mudanças na velocidade e na taxa de crescimento (SOUZA et al., 2010). A descrição de curvas de crescimento de bovinos de raças zebuínas, que utiliza modelos não-lineares foi apresentada em vários estudos nos quais se realizaram ajustes de modelos que descrevem a curva de crescimento dos animais para uma região ou estado. Quando se considera a grande diversidade de ambientes de produção no Brasil, o ajuste de uma única curva de crescimento para diferentes ambientes pode não ser adequado (CARNEIRO et al., 2014).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

No presente estudo foram utilizadas seis áreas amostrais implantadas em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista (FIGURA 1), nos municípios de Araucária, Boa Ventura de São Roque, Castro, Coronel Vivida, General Carneiro e Reserva do Iguaçu, no Estado do Paraná. No total foram amostradas 382 árvores e anotados os valores do diâmetro a altura do peito e da biomassa aérea seca.

##### 3.1.1 Localização Geográfica, Solo e Clima das áreas estudadas

Os fragmentos florestais onde estão instaladas as áreas experimentais possuem com variadas topografias, solos e níveis de antropização, mas todas encontram-se em estágio secundário de sucessão, classificadas conforme a Resolução nº2 – CONAMA/1994 (BRASIL, 1994). A TABELA 1 a seguir resume as características das regiões estudadas.

A área experimental de Araucária está localizada próxima à Refinaria Presidente Getúlio Vargas, pertencente à PETROBRÁS, na porção Centro-Sul do primeiro planalto paranaense, município de Araucária, com as seguintes coordenadas: Latitude 25°35'12"S e Longitude 49°20'45"W. A área está estabelecida em uma planície, no reverso do dique marginal do rio Barigui, com solo de origem alúvio-coluvionar formado por sedimentos de fina granulometria denominado gleissolo (BARDALL, 2002). De acordo com a classificação climática de Köppen, a região onde se localiza a área de estudo apresenta clima Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), caracterizado por ser mesotérmico, sempre úmido (com chuva todos os meses do ano) e verões brandos, sendo o clima típico do Planalto Meridional brasileiro. Segundo Bardall (2002), a área é influenciada, pela umidade e calor do oceano, do qual dista cerca de 100 km. Apesar da área em questão ter sofrido grandes modificações por conta da Refinaria, a vegetação encontra-se em bom estado de conservação, com características originais da Floresta Ombrófila Mista Aluvial.

FIGURA 1 – MAPA DAS REGIÕES FITOGEOGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ COM AS ÁREAS DE ESTUDO

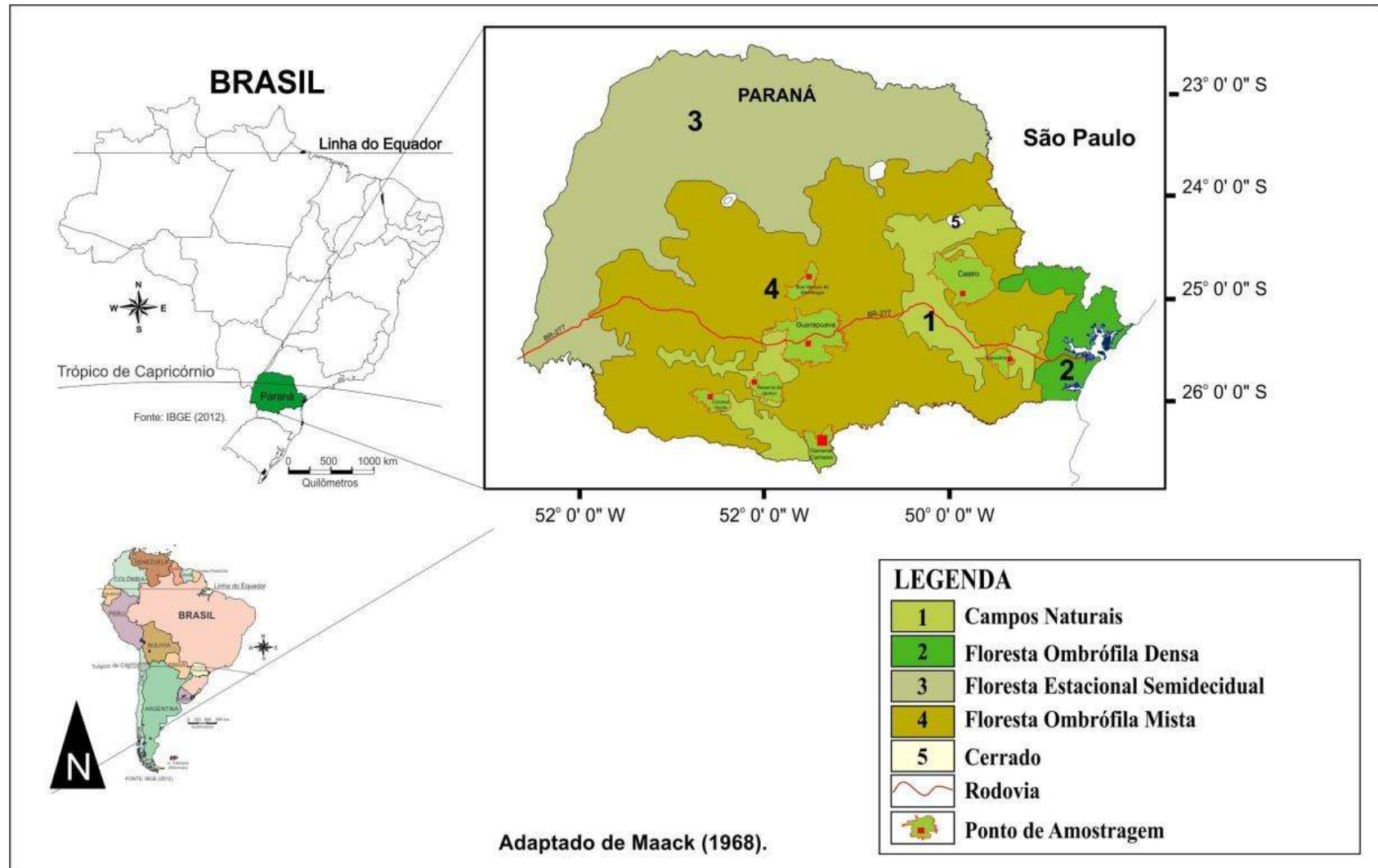




TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Área	Localização	Floresta	Clima	Temperatura	Amostra	Condições
Araucária (AR)	Latitude 25°35'12"S e Longitude 49°20'45"W	FOM Aluvial Altitude 897 m	Cfb Precipitação 1314 mm	Média anual 16,9°C	20 parcelas de 10 x 10 m	Estado de conservação bom, com grande quantidade de resíduos sólidos trazidos pelo Rio Barigui
Boa Ventura de São Roque (BV)	Latitude 24°47'34"S e Longitude 51°30'49"W	FOM Montana Altitude 775 m	Cfb Precipitação 1651 mm	Média anual 17,6°C	0,5 ha em 50 parcelas de 100 m <sup>2</sup>	Forte exploração no passado, com retirada de árvores com valor econômico, 15 anos sem exploração
Castro (CT)	Latitude 24°57'03"S e Longitude 49°51'43"W	FOM Montana Altitude 1023 m	Cfb Precipitação 1553 mm	Média anual 16,9°C	0,5 ha em 50 parcelas de 100 m <sup>2</sup>	Teve a retirada de árvores a mais de 20 anos para aproveitamento com pastoreio, atualmente encontra-se abandonada, estando em um estágio inicial de regeneração
Coronel Vivida (CV)	Latitude 25°57'31"S e Longitude 52°35'21"W	FOM Montana Altitude 630 m	Cfb Precipitação 1901 mm	Média anual 17,4°C	0,5 ha em 50 parcelas de 100 m <sup>2</sup>	Há mais de 18 anos não existe a retirada de árvores, portanto encontra-se em processo de regeneração
General Carneiro (GC)	Latitude entre 26°20'35"S e 26°26'13"S Longitude entre 51°19'49"W e 51°25'29"S	FOM Montana Altitude 983 m	Cfb Precipitação 1659 mm	Média anual 16,5°C	20 unidades de 12 x 12 m	Foi realizado plano de manejo no passado, atualmente encontra-se regenerado em bom estado de conservação
Reserva do Iguçu (RI)	Latitude 25°49'02"S e Longitude 52°06'27"W	FOM Montana Altitude 920 m	Cfb Precipitação 1848 mm	Média anual 16,6°C	0,5 ha em 50 parcelas de 100 m <sup>2</sup>	Explorado para retirada de espécies florestais para madeira e posterior criação de javalis, desde 2005 não é mais explorada

FONTE: [www.climate-data.org.br](http://www.climate-data.org.br) e o autor (2017). AR: Araucária, BV: Boa Ventura de São Roque, CT: Castro, CV: Coronel Vivida, GC: General Carneiro, RI: Reserva do Iguçu, FOM: Floresta Ombrófila Mista

A área localizada no município de Boa Ventura de São Roque, faz parte de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista particular com aproximadamente 5 hectares e coordenadas geográficas: Latitude 24°47'34"S e Longitude 51°30'49"W. A declividade do terreno é acentuada, podendo chegar em alguns locais a 45°. O fragmento florestal sofreu grande exploração no passado, quando foram retiradas as espécies florestais de maior valor econômico, seguido da criação de gado sob a floresta remanescente. Porém, segundo informações da proprietária da área, há 15 anos a área não é explorada de nenhuma forma. O município de Boa Ventura de São Roque situa-se no terceiro planalto paranaense e o clima da região caracteriza-se como Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com verões frescos e ocorrência de geadas severas no inverno, sendo a temperatura mínima média superior a 4°C e a média máxima inferior a 19°C (MAACK, 1981). Segundo a classificação do IBGE (2012), a vegetação da região é a Floresta Ombrófila Mista Montana. O relevo cai de ondulado a fortemente ondulado e em alguns pontos, montanhoso ou plano e suave. O material de origem é o basalto, o qual submetido às condições de clima e relevo deu origem ao Latossolo Roxo Distrófico ou Álico, Litólico Álico, Cambissolo Álico, além das inclusões de géis e hidromórficos sem expressão (IAPAR, 1986).

A área experimental situada no município de Castro está inserida em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista situado no Sítio Pau Brasil, localidade Campo do Meio, Distrito de Abapan, coordenadas geográficas: Latitude 24°57'03"S e Longitude 49°51'43"W. O município de Castro está localizado na região Centro-Sul do Estado do Paraná, também chamada de Campos Gerais. Geograficamente encontra-se no segundo planalto paranaense, também conhecido como Planalto Paleozóico, constituído por rochas sedimentares e metamórficas, destacando-se os arenitos, folhelhos betuminosos e o carvão mineral. Os solos que ocorrem na região são Latossolos, Cambissolos e Neossolos (ITCG, 2008). O clima predominante, segundo a classificação de Köppen é o Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com verões amenos, ocorrência de geadas e ocasionalmente neve, com temperaturas médias de 19,9°C no verão e 12,4°C no inverno (MAACK, 1981). A vegetação predominante encontrada é a Floresta Ombrófila Mista Montana (IBGE, 2012).

A área localizada no município de Coronel Vivida está instalada no sítio Recanto das Cachoeiras e apresenta como coordenadas geográficas: Latitude 25°57'31"S e Longitude 52°35'21"W, com declividade acentuada, superior a 45° em alguns casos. A formação geológica na região é originária do derrame de Trapp

ocorrido no período Triássico/Cretáceo da formação da Serra Geral. Os solos predominantes são o Latossolo Roxo nas áreas mais planas e Terra Roxa estruturada associada a solos Litólicos, nas porções mais elevadas dos morros (IAPAR, 1986). O clima é caracterizado por uma precipitação anual média entre 1.800 a 2.000 mm, temperatura mínima média de 14 a 17 °C e temperatura máxima média de 25 a 28 °C, considerado pela classificação de Köppen como Subtropical (Cfa). A vegetação encontrada é a Floresta Ombrófila Mista Montana (IBGE, 2012).

A área experimental do município de General Carneiro tem como coordenadas geográficas: Latitudes 26°20'35"S e 26°26'13"S e Longitudes 51°19'49"W e 51°25'29"S. A vegetação natural da área corresponde à Floresta Ombrófila Mista Montana. Conforme classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com verões amenos e invernos com severas geadas, não possui estações secas e a precipitação média anual é de 1.830 mm. A temperatura média dos meses mais quentes é inferior a 22 °C e dos meses mais frios é superior a 18 °C. O substrato geológico da região é formado pelo derrame de Trapp da formação da Serra Geral (MAACK, 1981). Na região ocorre uma associação dos solos Neossolo Regolítico Húmico típico, de textura argilosa, álico, de relevo suave ondulado e do solo Nitossolo Vermelho Distroférico típico, de textura argilosa e relevo suave ondulado, ambos os solos tem como substratos rochas erúpticas (EMBRAPA, 2008). A topografia possui predominância da característica montanhosa, mas apresenta ainda relevos ondulado e plano (MAACK, 1981).

A área experimental localizada no município de Reserva do Iguaçu é um fragmento de Floresta Ombrófila Mista que está nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude 25°49'02"S e Longitude 52°06'27"W. A área fica próxima à Estação Ecológica Rio dos Touros, classificada como área de proteção integral em decorrência de compensações ambientais devido à instalação de uma usina hidrelétrica. A área foi explorada com a retirada de espécies florestais para produção de palanques e madeiras de construção civil e com a criação de javalis. Porém, segundo o proprietário da área, desde o ano de 2005, a mesma não foi mais explorada. A topografia da área é pouco acidentada, predominando o terreno plano e levemente inclinado. Segundo o ITCG (2008), a região onde encontra-se o município de Reserva do Iguaçu é constituída de solos do tipo Neossolos, Latossolos e Nitossolos, que são solos de origem magmática. O clima pelo sistema de classificação de Köppen caracteriza-se como Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), com

precipitação média anual de 1.900 a 2.100 mm e temperatura mínima média de 12 a 14°C e temperatura máxima média de 23 a 25°C (IAPAR, 1994). A vegetação encontrada na região é a Floresta Ombrófila Mista Montana (IBGE, 2012).

### 3.1.2 Área Paraná

Frente ao objetivo de ajustar um modelo de regressão com a junção das seis áreas, definiu-se um conjunto de todas as observações, denominando-o de área Paraná. Ao todo foram amostradas 382 árvores, sendo 102 na área de Araucária, 26 na área de Boa Ventura de São Roque, 42 em Castro, 17 em Coronel Vivida, 172 em General Carneiro e 23 na área de Reserva do Iguaçu.

Com a definição dessa área, avaliou-se qual modelo melhor representa a junção das seis áreas individuais. Por fim, utilizou-se o teste de identidade de modelos para verificar se as seis regiões podem ser representadas por uma única equação.

### 3.1.3 Espécies Florestais Arbóreas

As 109 espécies florestais objeto deste estudo estão listadas na TABELA 2 e estão distribuídas nas seis regiões em que foram encontradas com os respectivos nomes científicos, nomes populares e famílias.

TABELA 2 –ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS EM ESTUDO

(continua)

Nº	Nome Científico	Nome Popular	Família	Áreas					
				BV	CV	CT	GC	RI	AR
1	<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.	laranjeirinha	Euphorbiaceae		X				X
2	<i>Albizia polycephala</i> (Benth.) Killip ex Record	farinha-seca	Fabaceae – Mimosoideae	X					
3	<i>Allophylus edulis edulis</i> (A.St.–Hil. et al.) Hiron. ex Niederl.	vacum	Sapindaceae	X			X		
4	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	angico pururuca	Fabaceae – Mimosoideae						X
5	<i>Annona emarginata</i> (Schltdl.) H.Rainer	ariticum–amarelo	Annonaceae						X
6	<i>Annona rugulosa</i> (Schltdl.) H.Rainer	ariticum–de-porco	Annonaceae	X	X				
7	<i>Annona sericea</i> Dunal	ariticum–preto	Annonaceae						X
8	<i>Annona sylvatica</i> A.St.–Hil.	ariticum	Annonaceae	X					
9	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	araucária	Araucariaceae					X	
10	<i>Baccharis organensis</i> Baker	vassourinha–batata	Asteraceae			X	X		
11	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	marfim	Rutaceae						X
12	<i>Banara tomentosa</i> Clos	cambroé	Salicaceae			X			
13	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	murta	Myrtaceae						X
14	<i>Calyptanthes concinna</i> DC.	guamirim–facho	Myrtaceae				X	X	
15	<i>Campomanesia guazumifolia</i> (Cambess.) O. Berg	sete–capote	Myrtaceae						X
16	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O. Berg.	guabiroba	Myrtaceae				X	X	X
17	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	guaçatunga	Salicaceae					X	
18	<i>Casearia lasiophylla</i> Eichler	guacatunga–graúda	Salicaceae				X		
19	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	cafezeiro–do–mato	Salicaceae				X		
20	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro	Meliaceae	X	X				
21	<i>Cestrum</i> sp.	cestrum	Solanaceae	X					
22	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichl. ex Miq.) Engl.	guatambú	Sapotaceae			X			
23	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.)Radlk.	guatambú–miúdo	Sapotaceae			X			
24	<i>Cinnamodendron dinisii</i> Schwanke	pimenteira	Canellaceae				X		
25	<i>Cinnamomum sellowianum</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	canela–branca	Lauraceae				X		

TABELA 2 – ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS EM ESTUDO.

(continuação)

Nº	Nome Científico	Nome Popular	Família	Áreas					
				BV	CV	CT	GC	RI	AR
26	<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) R.A.Howard	congonha	Cardiopteridaceae				X		
27	<i>Clethra scabra</i> Pers.	carne-de-vaca	Clethraceae				X	X	
28	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S.Mill.	guajuvira	Boraginaceae						X
29	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	louro	Boraginaceae						X
30	<i>Cordyline spectabilis</i> Kunth & Bouché	uvarana	Laxmanniaceae	X					X
31	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	cuvatan	Sapindaceae	X	X		X		
32	<i>Cyathea</i> sp.	xaxim-com- espinhos	Cyatheaceae	X					
33	<i>Dahlstedtia muehlbergianus</i>	timbó-branco	Fabaceae – Faboideae	X					
34	<i>Dalbergia brasilienseis</i> Vogel	jacarandá	Fabaceae – Faboideae				X		
35	<i>Dasyphyllum brasiliense</i> (Spreng.) Cabrera.	não-me-toque	Asteraceae				X		
36	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	maria-preta	Sapindaceae						X
37	<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook.	xaxim-sem- espinhos	Dicksoniaceae	X			X		
38	<i>Drimys brasiliensis</i> Miers	cataia	Winteraceae				X	X	
39	<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.– Hil.	cocão	Erythroxylaceae				X		
40	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	cerejeira	Myrtaceae						X
41	<i>Eugenia pluriflora</i> DC.	guamirim- pitanga	Myrtaceae				X		
42	<i>Eugenia uniflora</i> L.	pitanga	Myrtaceae		X				
43	<i>Eugenia uruguayensis</i> Cambess.	guamirim- uruguai	Myrtaceae				X		
44	<i>Gymnanthes klotzschiana</i> Müll.Arg.	branquilha	Euphorbiaceae		X		X		X
45	<i>Holocalyx balansae</i> Micheli	alecrim	Caesalpinoideae		X				
46	<i>Ilex brevicuspis</i> Reissek	voadeira	Aquifoliaceae	X					
47	<i>Ilex dumosa</i> Reissek	cauninha	Aquifoliaceae				X	X	
48	<i>Ilex microdonta</i> Reissek	congonha	Aquifoliaceae				X		
49	<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.–Hil.	erva-mate	Aquifoliaceae				X		
50	<i>Ilex theezans</i> Mart. ex Reissek	caúna	Aquifoliaceae				X	X	

TABELA 2 – ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS EM ESTUDO.

Nº	Nome Científico	Nome Popular	Família	(continuação)					
				Áreas					
				BV	CV	CT	GC	RI	AR
51	<i>Inga marginata</i> Willd.	Ingá	Fabaceae – Mimosoideae	X					X
52	<i>Inga vera</i> Willd.	ingá–banana	Fabaceae – Mimosoideae						X
53	<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	caroba	Bignoniaceae				X	X	
54	<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	guaraperê	Cunoniaceae				X	X	
55	<i>Lithrea brasiliensis</i> Marchand	bugre	Anacardiaceae					X	X
56	<i>Lithrea molleoides</i> (Vell.) Engl.	aroeira–branca	Anacardiaceae				X		
57	<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima	timbó	Fabaceae – Faboideae	X					
58	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	açoita–cavalo	Malvaceae	X	X				
59	<i>Machaerium paraguariense</i> Hassl.	sapuvão	Fabaceae – Faboideae	X	X				X
60	<i>Manihot grahamii</i> Hook.	mandioca–do–mato	Euphorbiaceae	X					
61	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	miguel–pintado	Sapindaceae	X				X	
62	<i>Maytenus evonymoides</i> Reissek	tiriveiro	Celastraceae				X		
63	<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	bracatinga	Fabaceae – Mimosoideae					X	
64	<i>Myrceugenia glaucescens</i> (Cambess.) D.Legrand & Kausel	Guamirim	Myrtaceae						X
65	<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	guamirim–vermelho	Myrtaceae				X		
66	<i>Myrcia hartwegiana</i> (O.Berg) Kiaersk.	guamirim–pertagoela	Myrtaceae				X		
67	<i>Myrcia retorta</i> Cambess.	guamirim–ferro	Myrtaceae				X		
68	<i>Myrcia</i> sp.	Guamirim	Myrtaceae					X	
69	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	guamirim–preto	Myrtaceae				X		
70	<i>Myrcianthes gigantea</i> (D.Legrand.)D.Legrand	araçá–do–mato	Myrtaceae						X
71	<i>Myrcianthes pungens</i> (O. Berg) D. Legrand	Guabijú	Myrtaceae						X
72	<i>Myrciaria tenella</i> (DC.) O. Berg	Cambuí	Myrtaceae				X		X
73	<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão	cabriúva	Fabaceae – Faboideae		X				
74	<i>Myrrhinium atropurpureum</i> Schott	Murtelho	Myrtaceae						X
75	<i>Myrsine feruginea</i> Spreng	Capororoca	Primulaceae				X	X	

TABELA 2 – ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS EM ESTUDO.

(continuação)

Nº	Nome Científico	Nome Popular	Família	Áreas					
				BV	CV	CT	GC	RI	AR
76	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	Capororoquinha	Primulaceae			X			
77	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Capororocão	Primulaceae			X	X	X	
78	<i>Nectandra grandiflora</i> Nees	Caneleira	Lauraceae			X			
79	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	canela-amarela	Lauraceae	X					
80	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	canela-imbuia	Lauraceae	X			X		
81	<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez	Canela	Lauraceae			X			
82	<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart.) Barroso	Imbuia	Lauraceae				X		
83	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	canela-cuaicá	Lauraceae	X			X		
84	<i>Ocotea pulchella</i> (Nees & Mart.) Mez.	canela-lageana	Lauraceae			X	X		
85	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	angico-vermelho	Fabaceae – Mimosoideae	X					X
86	<i>Persea major</i> (Meisn.) L.E.Kopp	pau-de-andrade	Lauraceae			X	X		
87	<i>Phytolacca dioica</i> L.	Imbu	Phytolaccaceae		X				
88	<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusén ex Malme	vassourão-branco	Asteraceae				X		
89	<i>Piptocarpha axillaris</i> (Less.) Baker	vassourão-axilares	Asteraceae			X			
90	<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schtdl.) D. Dietr.	pessegueiro-bravo	Rosaceae	X		X	X		
91	<i>Quillaja brasiliensis</i> (A.St-Hil. & Tul.) Mart	pau-sabão	Rosaceae				X		
92	<i>Roupala montanavar. brasiliensis</i> (Klotzsch) K.S.Edwards	carvalho-brasileiro	Proteaceae			X			
93	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Leiteiro	Euphorbiaceae				X	X	
94	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	aroeira-vermelha	Anacardiaceae			X	X		X
95	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	Leiterinho	Euphorbiaceae				X	X	
96	<i>Sloanea lasiocoma</i> K.Schum.	Sapopema	Elaeocarpaceae				X		
97	<i>Solanum pseudoquina</i> A.St.-Hil.	Quina	Solanaceae					X	
98	<i>Strychnos brasiliensis</i> Mart.	pula-pula	Loganiaceae		X				
99	<i>Styrax leprosus</i> Hook & Arn.	maria-mole-gráuda	Styraceae				X		
100	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Palmeira	Arecaceae					X	
101	<i>Symplocos tenuifolia</i> Brand	maria-mole	Symplocaceae				X		



TABELA 2 – ESPÉCIES FLORESTAIS ENCONTRADAS NAS ÁREAS EM ESTUDO.

Nº	Nome Científico	Nome Popular	Família	(conclusão)					
				Áreas					
				BV	CV	CT	GC	RI	AR
102	<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl) Benth.	sete-sangrias	Symplocaceae				X	X	
103	<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.	Catiguá	Meliaceae		X				
104	<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.	Urtigueira	Urticaceae		X				
105	<i>Vasconcellea quercifolia</i> A.St.–Hil.	mamão-do-mato	Caricaceae						X
106	<i>Vernonanthura discolor</i> (Spreng.) H.Rob.	Vassourão	Asteraceae				X		
107	<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	Tarumã	Lamiaceae	X					
108	<i>Xylosma pseudosalzmanii</i> Sleumer	sucareiro-verdadeiro	Salicaceae				X	X	X
109	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	mamica-de-cadela	Rutaceae	X			X		
110	Mortas	--	--	X			X		X
<b>TOTAL</b>				<b>102</b>	<b>26</b>	<b>42</b>	<b>17</b>	<b>172</b>	<b>23</b>

FONTE: o autor (2017). AR: Araucária, BV: Boa Ventura de São Roque, CT: Castro, CV: Coronel Vivida, GC: General Carneiro, RI: Reserva do Iguazu

### 3.2 AMOSTRAGEM DA BIOMASSA

A amostragem para a determinação da biomassa foi realizada utilizando o método da árvore individual. As árvores derrubadas para a amostragem da biomassa florestal foram separadas em compartimentos: madeira do fuste, folhagem, galhos vivos, galhos mortos, casca do fuste e miscelânea (frutos, flores e sementes), sendo que cada um desses componentes foi devidamente pesado e utilizado para cálculo do total de biomassa aérea seca em kg por árvore.

Os coordenadores dos trabalhos de determinação de biomassa nas áreas em estudo foram Socher (2004) na área de Araucária e Watzlawick (2003 e 2012) nas áreas de Boa Ventura de São Roque, Castro, Coronel Vivida, General Carneiro e Reserva do Iguazu.

### 3.3 ESTATÍSTICA DESCRITIVA BÁSICA

Para se ter uma visão geral e comparar as regiões entre si e com outras áreas de FOM, foram determinados para as variáveis (*dap*) e biomassa, a média aritmética,

o desvio padrão, o coeficiente de variação, os pontos de mínimo e de máximo, a mediana e a amplitude total.

### 3.4 EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA

A base de dados utilizada no ajuste das equações de biomassa foi composta por dados de 382 árvores, das quais todas foram utilizadas no ajuste das equações para cada uma das áreas e na avaliação gráfica dos resíduos. Dentre os inúmeros modelos de regressão consagrados na literatura, foram escolhidos seis modelos matemáticos de regressão para estimativa da biomassa florestal. Os modelos escolhidos dentre os mais utilizados na avaliação de biomassa estão listados na TABELA 3.

TABELA 3 – MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS NO AJUSTE DE EQUAÇÕES DE BIOMASSA

Equação	Modelo matemático
1	$\ln B = a + b \cdot \ln(dap)$
2	$B = a + b \cdot (dap) + c \cdot (dap)^2$
3	$B = a \cdot e^{(dap)^b}$
4	$B = a \cdot (dap)^b + c \cdot \ln(dap)$
5	$B = a \cdot e^{b+c \cdot \ln(dap)+d \cdot \ln(dap)^2+m \cdot \ln(dap)^3}$
6	$B = a + \left(1 + b \cdot e^{[c \cdot (dap)]^d}\right)$

FONTE: o autor (2017). *B*: peso da biomassa; *dap*: diâmetro à 1,3 m; *ln*: logaritmo natural; *e* *a*, *b*, *c*, *d*, *f*, *m*: coeficientes estimados por regressão.

### 3.5 ESTATÍSTICAS DA QUALIDADE DO AJUSTE

Os ajustes das equações, a confecção das estatísticas e dos gráficos foram realizadas utilizando-se os *softwares Microsoft Excel 2013*, *MatLab® versão 2015a* e *Statistica® versão 5.1*. O critério para seleção das melhores equações foi dado por quatro avaliadores do ajuste: maior Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R_{aj}^2$ ), seguido do menor Erro Padrão da Estimativa ( $S_{yx}(\%)$ ) e maior estatística *F* e análise gráfica da distribuição dos resíduos padronizados.

### 3.5.1 Coeficiente de determinação

Segundo Kennedy (2008), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) deve representar a proporção da variação da variável resposta que é explicada pela variação da variável preditora. Existem questionamentos quanto ao uso do coeficiente de determinação para regressões não-lineares, porém, Souza (1998) afirma que a qualidade do ajuste pode ser medida pelo quadrado do coeficiente de correlação entre os valores observados e preditos no caso de regressão não-linear. O coeficiente de determinação pode ser calculado por:

$$R^2 = 1 - \frac{SQRes}{SQTot} \quad (18)$$

em que  $SQRes$  é a soma de quadrados dos resíduos e  $SQTot$  é a soma de quadrados total. Quanto maior o coeficiente de determinação calculado, melhor a qualidade do modelo ajustado.

### 3.5.2 Coeficiente de determinação ajustado

A inclusão de inúmeras variáveis, mesmo que tenham pouco poder explicativo sobre a variável dependente, aumentarão o valor de  $R^2$ . Isto incentiva a inclusão indiscriminada de variáveis, prejudicando o princípio da parcimônia. Dessa maneira, aplica-se uma medida alternativa do coeficiente de determinação, que penaliza a inclusão de regressores pouco explicativos. Trata-se do  $R^2$  ajustado ( $R_{aj}^2$ ):

$$R_{aj}^2 = 1 - \left( \frac{N - 1}{N - p - 1} \right) (1 - R^2) \quad (19)$$

em que  $N$  é o número de observações e  $p$  é o número de parâmetros do modelo.

### 3.5.3 Erro padrão da estimativa

O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) é uma estatística que mede a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, sendo que, quanto mais baixo for o valor do  $S_{yx}$ , melhor terá sido o ajuste (MACHADO,2002). O erro padrão da estimativa pode ser expresso por:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{N - p}} = \sqrt{QMres} \quad (20)$$

em que  $QMres$  é o quadrado médio do resíduo,  $N$  é o número de observações e  $p$  representa o número de parâmetros do modelo.

Ele informa de modo aproximado a extensão do erro entre os valores obtidos das estimativas ( $\hat{Y}$ ) e os valores de fornecidos pela amostra ( $Y$ ). Esse parâmetro pode ainda ser expresso em porcentagem, como:

$$S_{yx(\%)} = \frac{\sqrt{QMres}}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (21)$$

em que  $\bar{Y}$  é a média das observações.

### 3.5.4 Estatística $F$

A distribuição  $F$  de Fisher-Snedecor, mede a razão entre a soma de quadrados da regressão ( $SQPar$ ) e soma de quadrados do resíduo ( $SQRes$ ), com graus de liberdade  $p$  e  $(N - p)$ , respectivamente.

$$F = \frac{SQPar/p}{SQRes/(N - p)} \quad (22)$$

Com base nas estatísticas:  $R_{aj}^2$ ,  $S_{yx(\%)}$  e  $F$  foi avaliado o melhor ajuste dentre os seis modelos de equações para cada área. Os modelos matemáticos ajustados estão apresentados na TABELA 6.

### 3.5.5 Fator de correção de Meyer

Fator de correção desenvolvido para minimizar a discrepância logarítmica que geralmente subestima os valores fornecidos pela amostra. O cálculo do antilogaritmo é necessário para se obter o valor real, porém, na realização deste procedimento é gerada a discrepância logarítmica. O fator de correção de Meyer é utilizado tanto para modelos que usam a base 10, como a base natural. A fórmula para o fator de Meyer ( $Fm$ ) na sua forma natural é:

$$Fm = e^{0,5*QMres}$$

Em que:

$e$  = base do logaritmo natural

$QMres$  = quadrado médio dos resíduos

### 3.5.6 Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos

Esse critério de seleção considera todas as variáveis estatísticas anteriormente descritas e sintetiza os resultados, facilitando o processo de seleção do melhor modelo matemático. O valor ponderado é determinado atribuindo-se valores ou pesos aos parâmetros estatísticos. As estatísticas são ordenadas de acordo com a sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para a equação mais eficiente, 2 para a segunda e assim sucessivamente (ranking), conforme metodologia descrita por Thiersch (1997). Após essa classificação individual, efetuou-se o somatório da pontuação para cada modelo matemático, sendo que a equação de volume que recebeu a menor soma foi recomendada como mais adequada para uso.

## 3.6 VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE BIOMASSA

O processo de validação objetiva a verificação da qualidade da equação e baseia-se na utilização de um conjunto de dados diferente daquele utilizado na etapa do ajuste. Se a equação escolhida for capaz de representar o comportamento de diferentes conjuntos de dados, tem-se indício de que o modelo não representou os

dados por acaso. Nessa situação temos um modelo confiável para a representação das variáveis em observação.

### 3.6.1 Validação das equações obtidas para cada área em estudo

Após a escolha do melhor modelo ajustado de cada área, foi realizada uma validação das equações, sendo utilizados os dados de uma determinada área para validar a equação de outra, escolhidas duas a duas aleatoriamente e formando seis grupos para análise dentre 15 possíveis. A validação foi realizada com esse critério, pois algumas das áreas estudadas têm um número muito reduzido de árvores amostradas que inviabilizaria realizar as validações com uma fração dos dados observados na própria área analisada.

Tomando como exemplo a área de Coronel Vivida, com um número total de 17 árvores, a separação em duas frações, uma para o modelo e outra para validação, prejudicaria os dois passos, pois a redução do número de dados disponíveis para o ajuste prejudicaria a identificação do modelo para essa área e, conseqüentemente, a redução dos dados de validação comprometeria a avaliação do modelo obtido no passo anterior.

Desse modo, considerando a composição florestal única (Floresta Ombrófila Mista), optou-se por utilizar os dados de diferentes áreas, duas a duas, para a validação dos modelos obtidos, conforme será apresentado no item 4.4

### 3.6.2 Validação das equações para a área do Paraná

A base de dados utilizada na validação para a área do Paraná foi composta por dados de 38 árvores, ou seja, 10% da base de dados total (382 árvores), de modo análogo à metodologia apresentada por Ratuchne (2015).

Objetivando-se manter a proporção das áreas em estudo, selecionou-se, com amostragem aleatória dos *dap*, 10% de observações em cada área de estudo, conforme será apresentado no item 4.4.

## 3.7 ANÁLISE DOS RESÍDUOS

Existem diversas maneiras de se verificar a qualidade do modelo obtido. O principal ponto a ser considerado deve ser a capacidade preditiva do modelo, por meio

da validação, todavia, como uma segunda avaliação a análise do resíduo deve ser aplicada (JATEGAONKAR, 2006). Para um modelo bem definido, os resíduos ao longo dos *dap* devem variar aleatoriamente e dentro de um intervalo com limites constantes.

A análise gráfica dos resíduos é indispensável na escolha da melhor equação mesmo quando os estimadores dos ajustes sejam considerados bons. A análise gráfica indica se existe tendenciosidade nas estimativas da variável dependente ao longo da curva de regressão, independência dos resíduos e homogeneidade das variâncias. A subjetividade na avaliação gráfica sempre existe, assim, ela deve ser avaliada juntamente com as estatísticas de regressão já citadas anteriormente.

O cálculo do resíduo padronizado (*res.pad*) da regressão em cada unidade amostral é dado pela Equação 23:

$$res.pad_i = \frac{\hat{Y}_i - Y_i}{DP(res)} \quad (23)$$

em que  $DP(res)$ , representa o Desvio Padrão dos resíduos.

O gráfico dos resíduos foi construído com os valores da variável independente (*dap*) no eixo das abscissas e os valores dos resíduos padronizados no eixo das ordenadas.

### 3.8 IDENTIDADE DE MODELOS

Dentre os modelos ajustados para cada área, aquele que obteve as melhores estatísticas para a maioria das áreas em estudo, foi submetido ao teste de identidade de modelos proposto por Regazzi(1993) e descrito no item 2.5, a fim de se avaliar se as estimativas dos parâmetros para os modelos completo e reduzido são estatisticamente iguais. Ou seja, foi realizado o teste F, que avalia a hipótese de que o modelo reduzido para os grupos é idêntico aos modelos completos para cada área em estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

A amostra da Floresta Ombrófila Mista estudada no presente trabalho possui 382 indivíduos pertencentes a 42 famílias (TABELA 4). As famílias mais representativas são a Euphorbiaceae com 86 árvores presentes em 5 regiões; Myrtaceae com 54 indivíduos, aparecendo em 4 regiões; em 3 regiões são encontradas as famílias: Lauraceae com 29 árvores, Aquifoliaceae com 26 amostras e Primulaceae com 24 indivíduos.

As famílias Araucariaceae e Styraceae estão presentes apenas em General Carneiro com 15 e 10 árvores, respectivamente; Sapindaceae foi encontrada em 4 regiões com 15 indivíduos; 13 árvores da família Asteraceae foram observadas em 3 regiões. A família Fabaceae – Mimosoideae está presente com 11 indivíduos em 3 regiões.

As famílias Salicaceae e Anacardiaceae foram observadas com 9 indivíduos presentes em 4 e 3 regiões, respectivamente; Fabaceae – Faboideae com 7 árvores aparecendo em 4 regiões estudadas; Symplocaceae foi observada com 6 árvores em 2 regiões e em 3 regiões estudadas foram observadas as famílias das Annonaceae e Rosaceae com 5 e 4 árvores respectivamente.

As demais famílias foram observadas nas diferentes regiões com números de observações iguais ou inferiores a três, conforme observadas na TABELA 4.

TABELA 4 – FAMÍLIAS ENCONTRADAS NA AMOSTRA ESTUDADA E SUA OCORRÊNCIA POR ÁREA.

(continua)

Família	Número de Árvores	Áreas					
		AR	BV	CT	CV	GC	RI
Euphorbiaceae	86	X	X		X	X	X
Myrtaceae	54	X		X	X	X	X
Lauraceae	29		X	X		X	
Aquifoliaceae	26		X	X		X	
Primulaceae	24			X		X	X
Araucariaceae	15					X	
Sapindaceae	15		X		X	X	X
Asteraceae	13			X		X	
Fabaceae – Mimosoideae	11		X			X	X



TABELA 4 – FAMÍLIAS ENCONTRADAS NA AMOSTRA ESTUDADA E SUA OCORRÊNCIA POR ÁREA.

(conclusão)

Família	Número de Árvores	Áreas					
		AR	BV	CT	CV	GC	RI
Styraceae	10					X	
Salicaceae	9	X		X	X	X	
Dicksoniaceae	8		X			X	
Fabaceae – Faboideae	7		X	X	X		X
Symplocaceae	6			X		X	
Annonaceae	5		X		X		X
Rosaceae	4		X	X		X	
Bignoniaceae	3			X		X	
Meliaceae	3		X		X		
Rutaceae	3		X	X			X
Boraginaceae	2						X
Clethraceae	2			X		X	
Cunoniaceae	2			X		X	
Laxmanniaceae	2		X				X
Malvaceae	2		X		X		
Sapotaceae	2				X		
Solanaceae	2		X				X
Winteraceae	2			X		X	
Arecaceae	1						X
Caesalpinoideae	1				X		
Canellaceae	1			X			
Cardiopteridaceae	1			X			
Caricaceae	1						X
Celastraceae	1			X			
Cyatheaceae	1		X				
Elaeocarpaceae	1					X	
Erythroxylaceae	1			X			
Lamiaceae	1		X				
Loganiaceae	1				X		
Phytolaccaceae	1				X		
Proteaceae	1			X			
Urticaceae	1				X		
Mortas	12	X	X			X	
<b>TOTAL</b>	<b>382</b>						

FONTE: o autor (2017). AR: Araucária, BV: Boa Ventura de São Roque, CT: Castro, CV: Coronel Vivida, GC: General Carneiro, RI: Reserva do Iguazu

Em São João do Triunfo/PR, Longhi (1980), encontrou 26 famílias, amostrando indivíduos com  $dap \geq 20$  cm. Na mesma floresta, após 19 anos, Pizzato (1999) encontrou 30 famílias com  $dap \geq 10$  cm. Em 2003, Watzlawick, ao analisar a Floresta Ombrófila Mista de General Carneiro encontrou 21 famílias. Socher (2004) observou 16 famílias em 2001 e 15 famílias em 2003 quando estudou um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial na região de Araucária/PR. Ratuchne (2015) estudando 4 fragmentos de Floresta Ombrófila Mista no Paraná encontrou entre 44 e 62 espécies. Esses estudos envolveram a análise fitossociológica das áreas e não só a biomassa, objeto do presente trabalho.

O Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina realizado entre 2007 e 2011 em 155 unidades amostrais, estimou para a Floresta Ombrófila Mista,  $560 \pm 42,4$  árvores  $ha^{-1}$ , com  $dap > 10$  cm, sendo que as famílias que tiveram o maior número de espécies foram Asteraceae (119 espécies), Myrtaceae (88 espécies), Fabaceae (58 espécies), Solanaceae (52 espécies), Melastomataceae (43 espécies), Lauraceae (39 espécies), Orchidaceae (37 espécies), Rubiaceae (32 espécies), Polypodiaceae (29 espécies), Poaceae (28 espécies), Piperaceae (23 espécies), Cyperaceae (23 espécies), Dryopteridaceae (21 espécies), Pteridaceae (21 espécies) e Aspleniaceae (17 espécies).

No Rio Grande do Sul, o Inventário Florestal feito na Floresta Ombrófila Mista encontrou 246 espécies pertencentes a 58 famílias botânicas e número médio de árvores de 831,05 árvores  $ha^{-1}$ . Foi nas classes diamétricas 10-40 cm que concentraram-se 66,64% do volume comercial, 66,81% da área basal e 785,31 árvores  $ha^{-1}$ .

## 4.2 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

A TABELA 5 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis  $dap$  e biomassa das seis áreas de estudo do presente trabalho.

Considerando o  $dap$ , destaca-se o baixo número de árvores amostradas nas áreas de Coronel Vivida (17) e Boa Ventura de São Roque (26) em contraponto ao elevado número na área de General Carneiro (172). Quanto à média dos  $dap$ , observou-se que variaram de 9,09 cm (Araucária) a 23,71 cm (General Carneiro). O maior desvio padrão (16,46 cm) foi observado na área de General Carneiro. O coeficiente de variação (CV%) variou de 32,93% (Coronel Vivida) a 84,21% (Paraná).

A amplitude total ficou entre 14,42 cm (Coronel Vivida) e 101,45 cm (Paraná), com mínimo de 4,23 cm para Castro e Paraná e, máximo de 105,68 cm para General Carneiro e Paraná.

Figueiredo Filho et al. (2010) fizeram um levantamento de resultados obtidos em trabalhos realizados com a Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil, de 1999 a 2010 e observaram que o *dap* teve pequena variação entre as áreas avaliadas, com o menor em São Francisco de Paula - 21,45 cm (Gomes, 2005) e o maior em São João do Triunfo - 35,90 cm (Schaaf, 2001). A média das medidas de *dap* encontrada pelos autores foi de 22,63 cm, valor maior que a média determinada no presente trabalho para o Estado do Paraná, que foi de 15,90 cm.

Kurchaidt (2014), analisando dados de quatro parcelas permanentes no município de São João do Triunfo, encontrou no ano de 1995, *dap* médios variando de 10,30 cm a 26,60 cm e no ano de 2010, *dap* médios variando de 9,78 cm a 25,60 cm.

TABELA 5 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS OBTIDAS PARA A BASE DE DADOS

Área	<i>dap</i> (cm)								BIOMASSA TOTAL (kg)						
	<i>N</i>	$\bar{X}$	DP	CV%	Min.	Máx.	Med.	AT	$\bar{Y}$	DP	CV%	Min.	Máx.	Med.	AT
Araucária	102	9,09	3,55	39,07	4,77	24,83	8,28	20,05	29,26	32,39	110,69	3,19	246,11	22,5	242,92
Boa Ventura de São Roque	26	10,17	3,97	39,06	5,28	24,48	9,49	19,20	21,00	19,68	93,72	3,38	83,91	15,51	80,53
Castro	42	9,79	3,83	39,10	4,23	20,12	8,45	15,89	35,67	33,69	94,43	5,38	158,14	20,37	152,77
Coronel Vivida	17	9,22	3,04	32,93	5,67	16,55	8,31	10,89	20,45	16,40	80,21	0,65	69,43	16,73	68,78
General Carneiro	172	23,71	16,46	69,42	5,41	105,68	18,68	100,27	345,12	800,90	232,07	4,79	5.930,25	90,80	5.925,46
Reserva do Iguaçu	23	10,28	4,48	43,56	5,57	26,42	8,59	20,85	35,38	41,82	118,21	6,45	188,13	25,21	181,68
Paraná	382	15,90	13,39	84,21	4,23	105,68	11,87	101,45	171,60	559,62	326,12	0,65	5.930,25	32,95	5.929,60

FONTE: o autor (2017). *dap*: diâmetro a altura do peito (1,3 m); *N*: número de amostras;  $\bar{X}$ : média dos *dap*; DP: desvio padrão; CV%: coeficiente de variação; Min.: mínimo; Máx.: máximo; Med: mediana; AT: amplitude total;  $\bar{Y}$ : média da BIOMASSA

Com relação à biomassa, pode-se observar que a média variou de 20,45 kg (Coronel Vivida) a 345,12 kg (General Carneiro). A amplitude de variação das medidas de desvio padrão foi de 16,40 kg a 800,90 kg. O coeficiente de variação dos valores de biomassa das áreas foi bastante elevado de maneira geral, variando de 80,20% (Coronel Vivida) a 326,12% (Paraná). A amplitude total dos dados ficou entre 68,78 kg (Coronel Vivida) e 5.929,60 kg (Paraná), com valor mínimo para a biomassa de 0,65 kg para Coronel Vivida e máximo de 5.930,25 kg para o Paraná.

Ratuchne (2010) realizou estudo em uma área de Floresta Ombrófila Mista com Araucária no município de General Carneiro, com 91 árvores, encontrou uma média de 391,75 kg/árvore de biomassa, valor bem próximo ao determinado no presente trabalho para o mesmo município, que foi de 345,12 kg/árvore em média.

#### 4.3 EQUAÇÕES

Com relação aos modelos ajustados, para escolha da melhor equação, consideraram-se os valores obtidos nas estatísticas de ajuste, conforme apresentados na TABELA 6.

TABELA 6 – ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA AS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA TOTAL EM CADA ÁREA

Área (n)	Estat	EQUAÇÃO 1	EQUAÇÃO 2	EQUAÇÃO 3	EQUAÇÃO 4	EQUAÇÃO 5	EQUAÇÃO 6
		$\ln B = a + b \cdot \ln(dap)$	$B = a + b \cdot (dap) + c \cdot (dap)^2$	$B = a \cdot e^{(dap)^b}$	$B = a \cdot (dap)^b + c \cdot \ln(dap)$	$B = a \cdot e^{b+c \cdot \ln(dap)+d \cdot \ln(dap)^2+m \cdot \ln(dap)^3}$	$B = a + (1 + b \cdot e^{[c \cdot (dap)]^d})$
Araucária (n = 102)	$R_{aj}^2$	0,860	0,903	0,896	0,901	0,902	0,903
	$S_{yx(\%)}$	34,30*	34,43	35,68	34,19	34,69	34,55
	F	620,65	471,82	872,07	479,97	232,84	312,84
Boa Ventura (n = 26)	$R_{aj}^2$	0,181	0,230	0,244	0,222	0,146	0,190
	$S_{yx(\%)}$	81,24*	82,24	81,48	82,66	86,59	84,33
	F	6,53	4,73	9,08	4,57	2,07	2,96
Castro (n = 42)	$R_{aj}^2$	0,649	0,867	0,854	0,852	0,831	0,847
	$S_{yx(\%)}$	40,01*	34,95	36,03	36,30	38,80	36,96
	F	76,76	130,17	241,58	119,21	51,46	76,52
Coronel Vivida (n = 17)	$R_{aj}^2$	0,362	0,638	0,672	0,658	0,572	0,633
	$S_{yx(\%)}$	61,40*	48,15	45,92	46,94	52,50	48,57
	F	10,10	15,10	33,81	16,36	6,34	10,21
General Carneiro (n = 172)	$R_{aj}^2$	0,784	0,931	0,913	0,930	0,929	0,917
	$S_{yx(\%)}$	66,53*	61,88	68,20	61,29	61,78	66,84
	F	623,18	1.157,95	1.809,73	1.141,11	561,48	631,19
Reserva do Iguaçu (n = 23)	$R_{aj}^2$	0,519	0,811	0,809	0,810	0,790	0,798
	$S_{yx(\%)}$	51,97*	51,37	51,61	51,39	54,12	53,14
	F	24,75	48,26	94,41	49,36	21,73	29,95
Paraná (n = 344)	$R_{aj}^2$	0,813	0,928	0,908	0,928	0,928	0,910
	$S_{yx(\%)}$	120,36*	85,83	97,08	86,07	86,34	96,00
	F	1.490,23	2.229,86	3.410,52	2.216,68	1.110,32	1.165,74

FONTE: o autor (2017). B: Biomassa \* Valores corrigidos pelo fator de correção de Meyer.

A seleção dos modelos com base na proposta de Thiersch (1997), que considera o valor ponderado (VP) obtidos pelos escores de cada estatística tomadas em conjunto, é apresentada na Tabela 7, em que foram atribuídos valores de 1 a 6 para cada parâmetro estatístico ( $R_{aj}^2$ ,  $S_{yx(\%)}$ ,  $F$ ). Para as melhores estatísticas foram atribuídos valor 1, em seguida valor 2 até a última com valor 6 e em caso de empate as estatísticas receberam o mesmo valor.

Com base nos valores de VP, foi verificado maior desempenho na EQUAÇÃO 2 para as regiões de Castro, General Carneiro e Reserva do Iguaçu. Para a região de Araucária a EQUAÇÃO 2 e a EQUAÇÃO 4 apresentaram mesmo VP. Para Boa Ventura de São Roque, a EQUAÇÃO 3 apresentou o melhor VP, sendo que a EQUAÇÕES 1 e 2, empataram com o mesmo VP na segunda posição. Na região de Coronel Vivida, o melhor VP foi o da EQUAÇÃO 3, em segundo lugar a EQUAÇÃO 4, sendo a EQUAÇÃO 2 classificada como terceiro melhor VP.

Considerando as equações para o PARANÁ, a EQUAÇÃO 2 apresentou o melhor VP. Avaliando ainda um somatório do ranqueamento de todas as regiões, a EQUAÇÃO 2 apresentou o melhor VP global (43), seguido da EQUAÇÃO 4 (VP = 52), sendo que a EQUAÇÃO 5 foi aquela que teve o menor desempenho (VP = 101).

TABELA 7 – VALORES PONDERADOS DOS ESCORES DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS PARA AS EQUAÇÕES DE BIOMASSA TOTAL

Área	Estat	EQ. 1	EQ. 2	EQ. 3	EQ. 4	EQ. 5	EQ. 6
Araucária	$R_{aj}^2$	6	1	5	4	3	1
	$S_{yx}(\%)$	2	3	6	1	5	4
	$F$	2	4	1	3	6	5
	VP	10	8	12	8	14	10
Boa Ventura	$R_{aj}^2$	5	2	1	3	6	4
	$S_{yx}(\%)$	1	3	2	4	6	5
	$F$	2	3	1	4	6	5
	VP	8	8	4	11	18	14
Castro	$R_{aj}^2$	6	1	2	3	5	4
	$S_{yx}(\%)$	6	1	2	3	4	5
	$F$	4	2	1	3	6	5
	VP	16	4	5	9	15	14
Coronel Vivida	$R_{aj}^2$	6	4	1	2	5	3
	$S_{yx}(\%)$	6	3	2	1	5	4
	$F$	5	2	1	3	6	4
	VP	17	9	4	6	16	11
General Carneiro	$R_{aj}^2$	6	1	5	2	3	4
	$S_{yx}(\%)$	4	2	6	1	3	5
	$F$	5	2	1	3	6	4
	VP	15	5	12	6	12	13
Reserva do Iguaçu	$R_{aj}^2$	6	1	3	2	5	4
	$S_{yx}(\%)$	4	1	3	2	5	6
	$F$	5	3	1	2	6	4
	VP	15	5	7	6	16	14
Paraná	$R_{aj}^2$	6	1	5	1	1	4
	$S_{yx}(\%)$	6	1	5	2	3	4
	$F$	4	2	1	3	6	5
	VP	16	4	11	6	10	13
VP TOTAL		97	43	55	52	101	89

FONTE: o autor (2017).

Na FIGURA 2, são apresentados os gráficos de resíduos padronizados da equação que apresentou o melhor ajuste em cada região. Para aquelas em que a EQUAÇÃO 2 não apresentou as melhores estatísticas, são apresentados os resíduos das equações que obtiveram os melhores VP e, ainda, os resíduos da EQUAÇÃO 2,

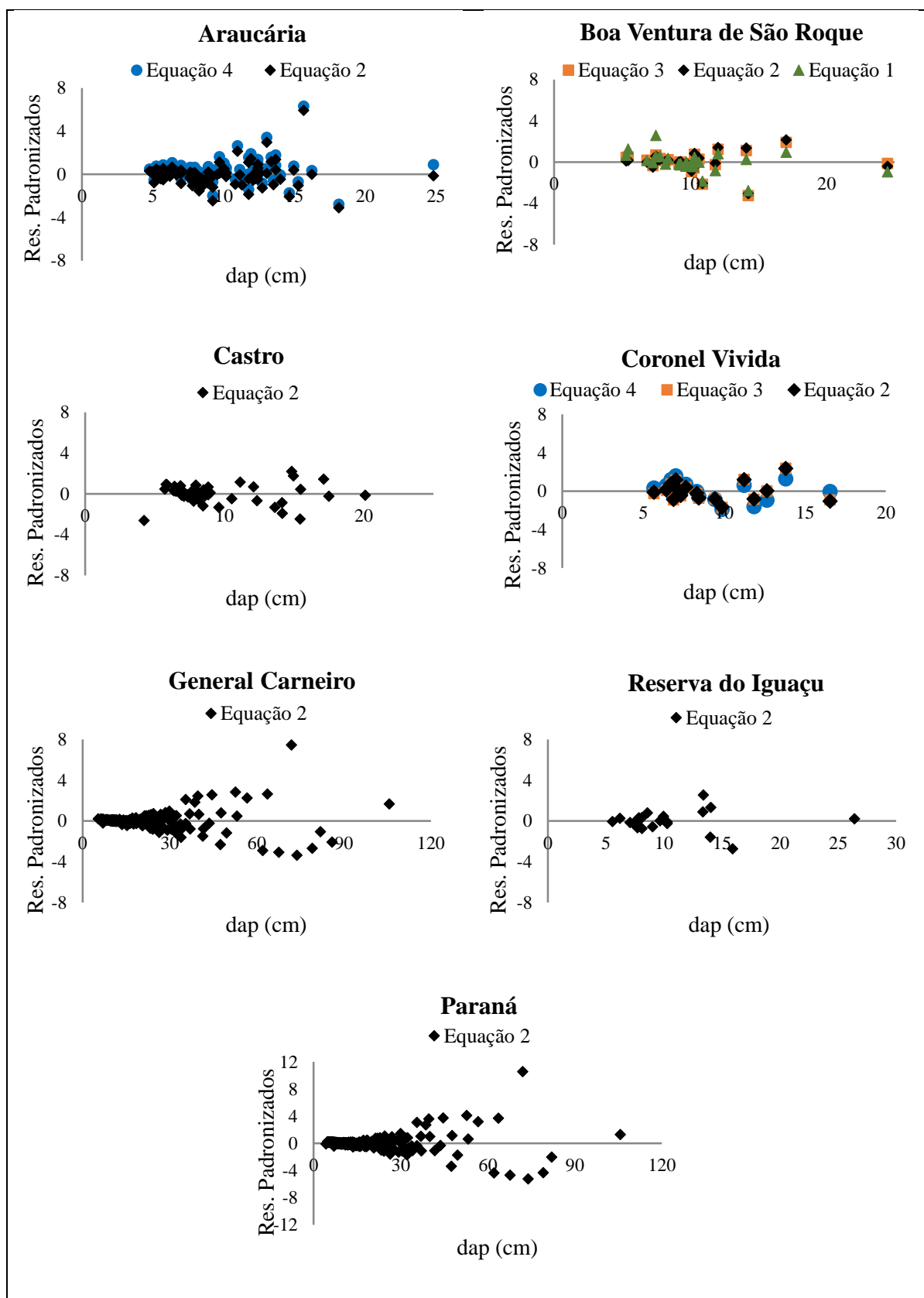


objetivando a observação de possíveis diferenças nos resíduos que inviabilizassem a escolha dessa equação como o melhor modelo para cada região.

Observando-se o comportamento dos gráficos nas áreas em que a EQUAÇÃO 2 não apresentou isoladamente as melhores estatísticas (Araucária, Boa Ventura de São Roque e Coronel Vivida), verificou-se que o resíduo padronizado não apresentou diferenças significativas entre a EQUAÇÃO 2 e a equação de melhor ajuste nessas regiões, contribuindo com a decisão de eleger a EQUAÇÃO 2 como a mais adequada para representar todas as regiões.

Ainda, considerando o princípio da parcimônia (JATEGAONKAR, 2006), o qual infere que o número de parâmetros de um modelo não deve ser maior que o necessário para explicar o fenômeno analisado e, que o modelo deverá ser complexo o suficiente, porém o mais simples possível, pode-se eleger a EQUAÇÃO 2 como a mais adequada para representar as seis regiões, bem como a área do Paraná. Outro aspecto que justifica a escolha da EQUAÇÃO 2 é o fato de que em cinco áreas esta equação foi a que apresentou melhores resultados.

FIGURA 2 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA BIOMASSA.



FONTE: o autor (2017)

A TABELA 8 mostra os resultados da EQUAÇÃO 2 ajustada para as seis áreas estudadas, bem como a equação do Paraná obtida com a junção das seis regiões.

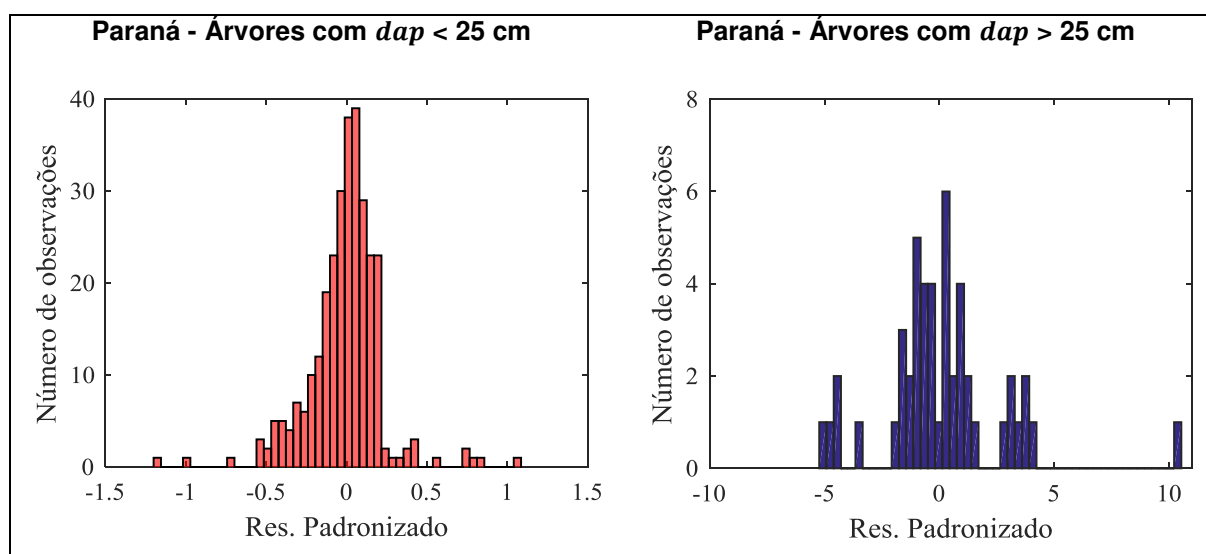
TABELA 8 – RESULTADO DO AJUSTE DA ESTIMATIVA DE BIOMASSA DA EQUAÇÃO 2

Região	Equação 2	$R_{aj}^2$	$S_{yx}(\%)$
Araucária	$B = 13,338 - 3,764 \cdot dap + 0,527 \cdot dap^2$	0,903	34,43
Boa Ventura	$B = -13,893 + 3,982 \cdot dap - 0,047 \cdot dap^2$	0,230	82,24
Castro	$B = 47,339 - 9,593 \cdot dap + 0,746 \cdot dap^2$	0,867	34,95
Coronel Vivida	$B = 11,977 - 2,214 \cdot dap + 0,308 \cdot dap^2$	0,638	48,15
General Carneiro	$B = 112,624 - 14,323 \cdot dap + 0,688 \cdot dap^2$	0,931	61,88
Reserva do Iguaçu	$B = -1,371 + 0,380 \cdot dap + 0,263 \cdot dap^2$	0,811	51,37
Paraná	$B = 79,443 - 12,130 \cdot dap + 0,655 \cdot dap^2$	0,928	85,83

FONTE: o autor (2017)

Considerando-se a escolha da EQUAÇÃO 2, pode ser observado ainda na FIGURA 2, que na área Paraná, à medida que se eleva o valor do *dap*, aumenta-se a dispersão do resíduo, ou seja, o modelo estima com maior exatidão o comportamento da biomassa para árvores com baixo *dap*. Para melhor observação desse comportamento, a FIGURA 3 a seguir apresenta o histograma dos resíduos padronizados para diferentes faixas de *dap*.

FIGURA 3 – HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS PARA O MODELO DA ÁREA PARANÁ



FONTE: o autor (2017)

O desvio padrão dos resíduos para *dap* inferiores a 25 cm foi igual a 0,230, enquanto que para *dap* superiores a 25 cm o desvio padrão foi de 2,637, ou seja, à medida que se eleva o valor do *dap*, aumenta-se a dispersão do resíduo. E assim, a equação estima com maior exatidão o comportamento da biomassa para árvores com baixo *dap* e estima a biomassa com menor exatidão para valores elevados do *dap*.

Socher (2004) ao trabalhar com um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, no município de Araucária, também obteve modelos matemáticos por meio de ajustes para estimar a biomassa florestal. Ele testou 22 modelos matemáticos, considerando o peso da matéria seca da árvore, o *dap*, a altura total, o diâmetro na base e a altura no ponto de inversão morfológica. Para o compartimento árvore, ele encontrou como menor erro de estimativa  $S_{yx(\%)}$  o valor de 23,84% e como maior 74,89%, com  $R_{aj}^2$  variando de 0,9521 até 0,5276. Os dados encontrados no presente trabalho na área de Araucária, se aproximam dos determinados por Socher (2004), pois na EQUAÇÃO 2 foi obtido  $R_{aj}^2$  de 0,903 e  $S_{yx(\%)}$  de 34,43%, o que para aquele autor foi considerado um bom ajuste considerando que a floresta em questão possui diversas espécies e em estágios de desenvolvimento distintos.

Ratuchne (2015) estudou fragmentos de Floresta Ombrófila Mista nos municípios de Boa Ventura de São Roque, Coronel Vivida, Castro e Reserva do Iguazu no que diz respeito à determinação de equações para estimativa da biomassa e encontrou valores para as estatísticas dos ajustes muito similares, sendo que o  $R_{aj}^2$  variou de 0,981 a 0,977 e o  $S_{yx(\%)}$  variou de 47,83 a 52,97%.

Em um trabalho realizado em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana do município de Boa Ventura de São Roque, Martins (2011) avaliou 26 árvores com *dap*  $\geq$  5 cm e fez o ajuste de 20 equações para estimar a biomassa, selecionando posteriormente as sete melhores. Nessa avaliação, obteve  $S_{yx(\%)}$  de 65,13% e  $R_{aj}^2$  de 0,806 para o melhor ajuste.

Quando avaliados os resultados apresentados na literatura, constatou-se que as estatísticas obtidas para os modelos estudados em cada região apresentaram valores semelhantes aos encontrados por Socher (2004) e Ratuchne (2015). Para o caso da região de Boa Ventura de São Roque, os valores obtidos nesse trabalho diferiram dos apresentados por Martins (2011). Todavia, destaca-se que nesse trabalho a seleção das seis equações candidatas consideraram como variável independente única o *dap*, enquanto Martins (2011) apresentou o melhor modelo com

dois regressores: *dap* e altura (*h*), justificando o melhor ajuste com o aumento da complexidade do modelo.

#### 4.4 VALIDAÇÃO

Nas áreas de Boa Ventura de São Roque, Castro, Coronel Vivida, e Reserva do Iguaçu, o número de indivíduos para cálculo da biomassa foi relativamente baixo (26, 42, 17 e 23 indivíduos, respectivamente). Desse modo, não foi possível a separação dos dados em dois conjuntos: uma parte para ajuste e outra parte para validação. Assim, considerando a composição florestal única (Floresta Ombrófila Mista), e a distribuição das famílias e das espécies nas seis regiões estudadas (TABELA 4), optou-se por utilizar as observações de outra região para a validação do modelo de determinada área, considerando que todas as áreas são parte da mesma Floresta Ombrófila Mista. Optou-se, dessa maneira, por utilizar os dados de diferentes áreas, escolhidas aleatoriamente, duas a duas, dentre as 15 combinações possíveis, para a validação dos modelos obtidos.

Nesse processo, de modo a se evitar a extrapolação dos limites da variável independente do modelo em avaliação, os dados utilizados na validação respeitaram os intervalos dos *dap* da região em que foi realizado o ajuste do modelo.

A área de Araucária teve a equação validada nos dados de Boa Ventura de São Roque; a equação de Boa Ventura de São Roque nos dados de Coronel Vivida; assim como a equação da área de Castro foi validada nos dados de Araucária; equação de Coronel Vivida nos dados de Castro; equação de General Carneiro validada nos dados de Reserva do Iguaçu; e, por fim, equação de Reserva do Iguaçu validada nos dados da área de General Carneiro.

A TABELA 9 apresenta as combinações das áreas sorteadas para o cruzamento de dados utilizado no processo de validação, e o número de amostras utilizadas em cada uma das regiões.

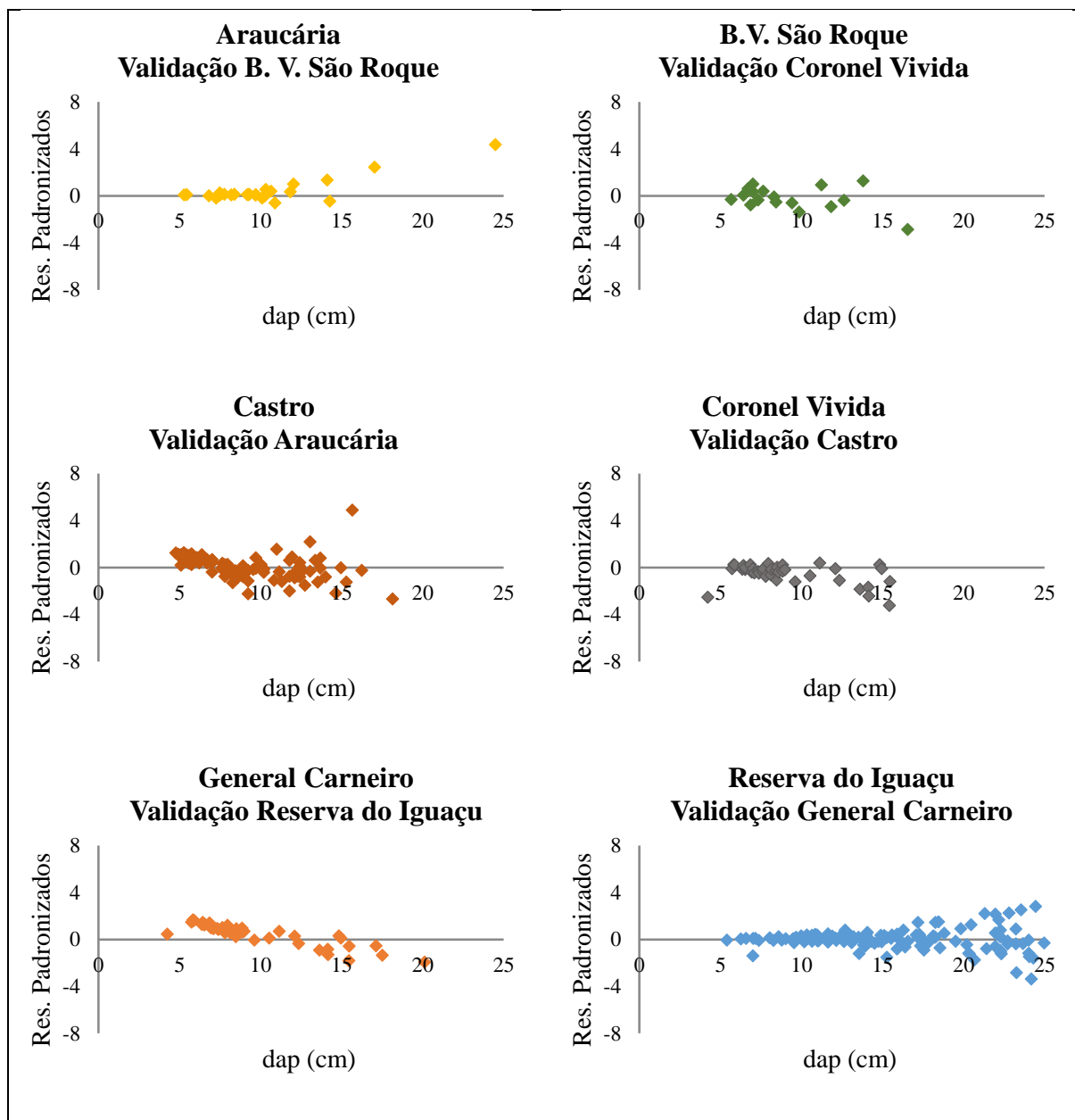
TABELA 9 – COMBINAÇÃO DOS DADOS NO PROCESSO DE VALIDAÇÃO DOS MODELOS

<b>Área</b>	<b>Dados para Validação</b>
	Boa Ventura de São Roque
Araucária	26 indivíduos $5,28 \leq dap \leq 24,48$
	Coronel Vivida
Boa Ventura de São Roque	17 indivíduos $5,67 \leq dap \leq 16,55$
	Araucária
Castro	101 indivíduos $4,77 \leq dap \leq 18,14$
	Castro
Coronel Vivida	39 indivíduos $4,23 \leq dap \leq 15,47$
	Reserva do Iguaçu
General Carneiro	23 indivíduos $5,57 \leq dap \leq 26,42$
	General Carneiro
Reserva do Iguaçu	126 indivíduos $5,41 \leq dap \leq 26,36$

FONTE: o autor (2017)

A FIGURA 4 apresenta os resultados dos Resíduos Padronizados da validação com dados dos cruzamentos entre as regiões de estudo.

FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS DA VALIDAÇÃO PARA A EQUAÇÃO 2



FONTE: o autor (2017)

Conforme observado na FIGURA 4, para a equação obtida na região de Araucária, verifica-se o comportamento aleatório do resíduo para *dap* inferiores a 15 cm, demonstrando a boa capacidade preditiva da equação para árvores de pequeno porte. Todavia, verificou-se que para *dap* superiores a 15 cm, representado por duas árvores no conjunto de validação, a equação superestimou o valor da biomassa. Essa característica decorreu do fato que na equação da floresta de Araucária, as árvores de grande porte, representadas em sua maioria por

*Gymnanthes klotzschiana* Müll.Arg (branquilho), apresentam elevado valor de biomassa, enquanto que as árvores de grande porte na região de Boa Ventura de São Roque utilizadas na validação são uma *Ocotea puberula* (Rich.) Nees (canela-cuiacá) e uma *Dicksonia sellowiana* Hook., (xaxim-sem-espinhos) caracterizadas por baixo valor de biomassa.

Para as demais regiões, os Resíduos Padronizados da validação não apresentaram tendências significativas, apresentando característica aleatória para as faixas de *dap* das equações de cada área analisada. Dessa maneira, comprova-se a capacidade preditiva dos modelos obtidos para a EQUAÇÃO 2 para baixos valores de *dap*.

A TABELA 10 apresenta os valores das médias, mínimos, máximos, desvio padrão e coeficiente de variação dos resíduos padronizados da validação.

TABELA 10 – ESTATÍSTICAS DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS DA VALIDAÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS, DUAS A DUAS

Área	Dados para Validação	$\bar{X}$	Min.	Máx.
Araucária	Boa Ventura	0.42	-0.58	4.38
Boa Ventura	Coronel Vivida	-0,19	-2,85	1,29
Castro	Araucária	0.10	-2.67	4.91
Coronel Vivida	Castro	-0.62	-3,83	0,46
General Carneiro	Reserva do Iguaçu	0.68	-2.54	1.90
Reserva do Iguaçu	General Carneiro	0.07	-4.86	2.81

FONTE: o autor (2017).  $\bar{X}$  : média; Min.: mínimo; Máx.: máximo

A equação ajustada para todas as árvores (Paraná) foi validada nos 10% das amostras, sorteadas aleatoriamente entre as 382 árvores em estudo, ou seja, 38 foram separadas para validação, conforme TABELA 11.



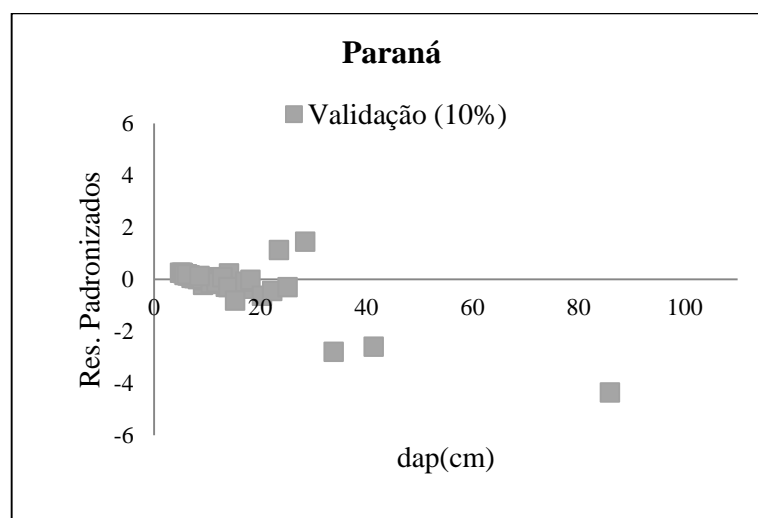
TABELA 11 – NÚMERO DE AMOSTRAS SELECIONADAS PARA VALIDAÇÃO DA ÁREA PARANÁ

Área	Número total de observações	Número de observações selecionadas para a validação
Araucária	102	10
Boa Ventura de São Roque	26	3
Castro	42	4
Coronel Vivida	17	2
General Carneiro	172	17
Reserva do Iguaçu	23	2
TOTAL	382	38

FONTE: o autor (2017)

A FIGURA 5 a seguir apresenta os resultados dos Resíduos Padronizados da validação para o Paraná.

FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO DA EQUAÇÃO 2 PARA O PARANÁ



FONTE: o autor (2017)

Conforme observado na FIGURA 5, verifica-se com os dados de validação que a equação obtida para a área Paraná é representativa para árvores de pequeno porte com *dap* inferiores a 25 cm. Porém, para *dap* superiores a 25 cm, o modelo

não apresentou uma boa estimativa, subestimando os valores de peso da biomassa para as árvores de grande porte do conjunto de validação.

#### 4.5 IDENTIDADE DE MODELOS

Após análise e escolha das equações que representam cada uma das seis áreas estudadas, na qual a EQUAÇÃO 2 apresentou os melhores resultados estatísticos, foi verificado se as áreas poderiam ser representadas por uma única equação utilizando a metodologia empregada por Regazzi (1993) que consiste na comparação por meio do teste F, dos modelos completos e do modelo reduzido (hipótese  $H_0$ ), conforme discutido no item 3.8.

O QUADRO 3 a seguir resume os resultados obtidos nessa análise.

QUADRO 3 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA RELATIVA AO TESTE DE HIPÓTESE  $H_0$

Fonte de variação	GL	SQ	QM	$F_0$
Parâmetros ( $\beta$ )	18	123.075.181		
Parâmetros ( $\theta$ )	3	122.979.147,2		
Redução ( $H_0$ )	15	96.033,7	6.402,2	0,311 <sup>ns</sup>
Resíduo	364	7.490.932,3	20.579,5	
Total	382	130.566.113,3		

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

O teste F para as equações das seis áreas em estudo foi não significativo, para  $\alpha=5\%$ , para o modelo reduzido da EQUAÇÃO 2,  $F_0 = 0,311 < F_\alpha = 1,69$ , aceitando-se  $H_0$ . Assim, a não existência de diferença significativa entre o modelo completo e o modelo reduzido leva a concluir que o ajuste de uma única equação é adequado para quantificar a biomassa das seis áreas estudadas e distribuídas nas regiões da Floresta Ombrófila Mista do Paraná, com 95% de confiança.

Também em trabalho com identidade de modelos para a curva do coletor (curva espécie-área), Kurchaidt (2014) avaliou quatro parcelas permanentes de inventário florestal no município de São João do Triunfo/PR, denominadas Araucária, Rio, Imbuia e Fogo, em quatro anos distintos (1995/2000/2005/2010). Nos quatro anos de avaliação, não foi possível representar as quatro equações apenas por uma.

Martins et al. (2015) aplicaram o teste de identidade de modelos volumétricos para povoamentos de *Eucalyptus* sp. com idade variando entre 5 e 6,5 anos plantados

em diferentes espaçamentos em sete municípios de Minas Gerais e não conseguiram ajustar uma equação comum para todos os municípios, mesmo as equações apresentando formas semelhantes em níveis diferentes, ao nível de significância ( $\alpha=5\%$ ). Nesse caso, aqueles autores dividiram os municípios em dois grupos (5 municípios e 2 municípios), com o objetivo de agrupar os municípios mais próximos para evitar variações nos fatores climáticos e povoamentos com características dendométricas mais semelhantes. Ainda assim, o grupo que ficou com dois municípios não pode ter uma equação que os representasse. Do grupo maior com cinco municípios teve que ter excluído mais um município para que o modelo fosse ajustado e representasse o grupo.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A composição florística dos dados analisados no presente estudo representa uma boa amostra das espécies que compõe a Floresta Ombrófila Mista do Paraná.

Algumas das áreas estudadas apresentaram estatísticas de ajuste relativamente baixas, notadamente em Boa Ventura de São Roque, isso deve-se a diversidade de espécies. De modo análogo, a área de Coronel Vivida apresentou alto erro padrão da estimativa e baixo coeficiente de determinação, para os modelos estudados, fornecendo estimativas de baixa exatidão.

Para as demais áreas estudadas, a maioria das equações avaliadas apresentou alto coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da estimativa aceitável considerando que são equações para florestas naturais, podendo fornecer boas estimativas de biomassa.

Considerando os valores ponderados dos escores, a análise gráfica dos resíduos e o princípio da parcimônia, elegeu-se a EQUAÇÃO 2 como a mais adequada para representar as regiões em estudo.

Dentro dos objetivos do trabalho, elegeu-se a equação  $B = 79,443 - 12,130 \cdot dap + 0,655 \cdot dap^2$  como representativa da junção das seis áreas, denominando-a de “EQUAÇÃO PARANÁ”.

O teste para a identidade de modelos mostrou-se adequado para analisar as diferentes características das regiões que são destacadas nas equações ajustadas, e o teste indicou com 95% de confiança que as seis regiões podem ser representadas por uma única equação.

Recomendamos, que as amostras de árvores para avaliação de biomassa contemplem as diversas espécies de uma dada região, preferencialmente com árvores de diâmetros maiores que 30 cm pois, o número de informações de árvores pequenas disponível é suficiente para bons ajustes e também que o número de indivíduos de cada unidade seja representativo permitindo assim melhores estimativas de biomassa.

Caso fossem realizados ajustes por espécies ou grupos de espécie, certamente os resultados obtidos seriam melhores, pois a variância entre os dados seria diminuída. Porém, para que isto seja executado, é necessário que haja uma coleta de dados maior, contemplando as várias espécies ou grupos de espécies com um número significativo de indivíduos, o que não ocorreu neste trabalho.

Ressalta-se que os resultados ora apresentados são válidos para a base de dados do presente estudo.

## 6 REFERÊNCIAS

ACCIOLY, P. **Mapeamento dos remanescentes vegetais arbóreos do estado do Paraná e elaboração de um sistema de informações geográficas para fins de análise ambiental do estado**. 2013. 129p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

AHRENS, S. **A mathematical expression. of stem form and volume for loblolly pine in southern Brazil**. Stillwater, Oklahoma State University, 1980. 59 p. Mestrado.  
BATES, D. M.; WATTS, D. G. **Nonlinear regression analysis and its applications**. New York: John Wiley and Sons, 1988.

BACKES, A. **Determinação da idade e regeneração natural de uma população de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze em um povoamento florestal localizado no município de Caxias do Sul, RS, Brasil**. Iheringia. Série Botânica, Porto Alegre. n. 5 v. 56, p. 115-130, 2001.

BRASIL. Resolução nº 2, de 18 de março de 1994. Define formações vegetais primárias e estágios sucessionais de vegetação secundária, com finalidade de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa do Paraná. **Diário Oficial do União**, Brasília, DF, n.059, 28 mar. 1994.

BROWN, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. **FAO – Forestry paper – Forest Resources Assessment**. 1997. 58 p.

BROWN, S.; LUGO, A.E. **Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes**. Science, Washington, DC, n.223, p.1290-1293, 1984.

BROWN, S.; LUGO, A.E.; CHAPMAN, J. Biomass of tropical tree plantations and its implication for the global carbon budget. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.13, p.390-394, 1986.

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

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

CARNEIRO, A.P.S.; MUNIZ, J.A.; CARNEIRO, P.L.S.; MALHADO, C.H.M.; MARTINS FILHO, R.; FINSECA E SILVA, F. Identidade de modelos não lineares para comparar curvas de crescimento de bovinos da raça Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 57-62, 2014.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 277-289, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ; EMBRAPA-SPI, 1994. 640p.

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

COOPER, C.F. Carbon storage in managed forest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.13, n.1, p.155-165, 1983.

COUTO, H.T.Z. **Tabelas de volume para brotação de touças de *Eucalyptus saligna* Smith**. IPEF, Piracicaba, (15)>117-121, 1977.

CUNIA, T.R. Construction of tree biomass tables by linear regression techniques. In: Estimating tree biomass regression and their error. Broomall: USDA. Forest Service, 1986. p.27 -36. **Proceedings of the workshop on tree biomass regression functions and their contribution to the error of forest inventory estimates**. (General Technical Report NE-117).

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley & Sons, 1981. 2 ed. 709p.

DURIGAN, G.; LEITÃO FILHO, H. de F. Fitossociologia e florística das matas ciliares do Oeste Paulista. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**. V. 7 (02). 1995. p. 197-239.

EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Mapa de solos do estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro, 2008. 74p.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, Mortalidade, Ingresso e Distribuição Diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, Curitiba, v. 4, n.4, p. 763 – 776, 2010.

GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; RODERJAN, C.V. Levantamento fitossociológico das principais associações arbóreas da Floresta Nacional de Irati, PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v.19, n.1-2, 1989. p. 30-49.

GRAYBILL, J. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury, 1976.

GOMES, J. F. **Classificação e crescimento de grupos ecológicos na Floresta Ombrófila Mista da FLONA de São Francisco de Paula, RS**. 2005. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2005.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J.A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Seminário Emissão X Sequestro de CO<sub>2</sub> – uma

nova oportunidade de negócios para o Brasil, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro : CVRD, 1994. P.125-145.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta amazônica**, Manaus, v.28, p.153-165, 1998.

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C. da.; FERREIRA, T. de S.; SOUZA, S. T. de.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M. da.; SANTOS, K. F. dos S.; LINKE, C.; PAULINO, P. da S. **Influência de variáveis ambientais sobre o padrão estrutural e florístico do componente arbóreo, em um fragmento de floresta ombrófila mista montana em Lages, SC.** Revista Ciência Florestal, v.22, n.1, p.79-90, 2012.

IAPAR. **Guia de campo para identificação de solos no Estado do Paraná: Solos da região do 3º Planalto.** Londrina: Fundação do Instituto Agrônomo do Paraná, 1986.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná.** Londrina, IAPAR, 1994, 49p.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro:IBGE,1992.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275p.

ITCG, INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS. **Solos - Estado do Paraná.** 2008. Disponível em: [http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos\\_DGEO/Mapas\\_ITCG/PDF/Mapa\\_Solos.pdf](http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Solos.pdf). Acesso em 01 jul 2016.

IVANAUSKAS, N. M.; ASSIS, M. C. **Formações Florestais Brasileiras.** In: MARTINS, S. V. E. (Ed.). Ecologia de florestas tropicais do Brasil. Viçosa: Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 261 p.

JARENKOW, J.A.; BATISTA, L.R.M.; Composição florística e estrutura da Mata com Araucária na Estação Ecológica de Aracuri, Esmeralda, Rio Grande do Sul. **Napaea**, n.3, p. 9-18, 1987.

JATEGAONKAR, R. **Flight vehicle system identification: a time domain methodology**, 1st ed. Reston, VA: AIAA Education Series, 2006.

KANIESKI, M.R.; ARAUJO, A.C.B.; LONGUI, S.J. Quantificação da diversidade em Floresta Ombrófila Mista por meio de diferentes índices alfa. **Scientia Forestalis**, 38: 567-577, 2010.

KENNEDY, P. **A guide to econometrics.** Massachusetts: Blackwell Publishing, 2008.

KOEHLER, H.S.; WATZLAWICK, L.F.; KIRCHNER, F.F. Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. In: SANQUETTA, C.R. et al. (Eds.). As florestas e o carbono. Curitiba: [S1.:s.n], 2002, p.251-264.



KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; VALÉRIO, A. F. Fontes de erros nas estimativas do biomassa e carbono fixado na Floresta Ombrófila Mista. *Biomassa & Energia*, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 69-77, jan./mar. 2005.

KURCHAIDT, S. M. **Uso de métodos estatísticos multivariados em dinâmica florestal**. 2014. 106p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia do Brasil**. v. 2. Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, p. 113-150, 1990.

LEITE, P.F. **As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil: proposta de classificação**. 1994. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

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

LONGHI, S.J. **Agrupamento e análise fitossociológica de comunidades florestais na sub-bacia hidrográfica do rio Passo Fundo-RS**. Curitiba, 1997. 198f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1981. 442p.

MACHADO, S. do A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. de. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v.4, n.2, p.185-197, 2002.

MACHADO, S. do A.; NASCIMENTO, R. G. M. N.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R. DA; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÊO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.5-16, 2008.

MARTINS, P.J. **Biomassa vegetal, estoque de carbono e dinâmica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR.

MARTINS, R. M.; LEITE, M. V. S.; CABACINHA, C. D.; ASSIS, A. L. Teste de identidade de modelos volumétricos para povoamentos de *Eucalyptus* sp. em sete municípios de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n. 21, p. 1818-1833, 2015.

MONTGOMEY, D.C.; PECK, E.A. **Introduction to statistical quality control**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley, 1997. 677p.

NASCIMENTO, A.R.T.; LONGHI, S.J.; BRENA, D.A. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, 11: 105-119, 2001.

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

OLIVEIRA, E.A. **Caracterização florística, fitossociológica e pedológica de um trecho de floresta ripária dos Campos Gerais do Paraná**. Curitiba, 2001. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná.

OVERMAN, J.P.M.; WITTE, H.J.L.; SALDARRIAGA, J.G. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. **Journal of Tropical Ecology**, v.10, 207-218, 1994.

PÁSCOA, F.; MARTINS, F.; GONZÁLES, R.S.; JOÃO, C. Estabelecimento simultâneo de equações de biomassa para o pinheiro bravo. In: SIMPÓSIO IBEROAMERICANO DE GESTIÓN Y ECONOMIA FORESTAL, 2, Barcelona. P. i-f, 2004.

PIRES, P. T. L. de; ZENI JUNIOR, D. M.; GAULKE, D. As unidades de conservação e a Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.22, n.3, p. 589-603, 2012.

RATUCHNE, L. C. **Equações alométricas para estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista**. 2010. 111p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, PR.

RATUCHNE, L. C. Biomassa e carbono: equações e dinâmica em fragmentos de **Floresta Ombrófila Mista no Paraná**. 2015. 102p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

REGAZZI, A.J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 40, n. 228, p. 176-195, 1993.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. Dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v.22, n.3, p.33-45, 2004.

REIS, A.; TRES, D. R.; SCARIOT, E. C. **Restauração na Floresta Ombrófila Mista através da sucessão natural**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, n. 55, p. 67, 2007.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. **As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná**. Ciência & Ambiente, Santa Maria. v. 24, n. 1, p. 75-42, 2002.

RUSSO, R.O. **Mediciones de biomassa em sistema agroflorestales**. Turrialba: CATIE, 1983, 27p.

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

SANTOS, J. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira**. 1996. 121 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa.

SANQUETTA, C. R. et al. Estabelecimento de plântulas de espécies arbóreas em um experimento de controle de taquaras (Bambusoideae) no sul do Paraná, Brasil. Curitiba: **Floresta**, v. 35, n. 1, jan./abr. 2005.

SAWCZUK, A. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; WATZLAWICK, L. F.; STEPKA, T. F. **Alterações na estrutura e na diversidade florística no período de 2002-2008 de uma Floresta Ombrófila Mista Montana do centro-sul do Paraná, Brasil**. Revista Floresta, Curitiba. v. 42, n. 1, p. 1-10, 2012.

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

SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: UFSM, 1997.

SCHNEIDER, P.R. **Manejo Florestal: planejamento da produção florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 493 p.

SCHUMACHER, M.V.; WITSCHORECK, R.; CALDEIRA, M.V.W.; WATZLAWICK, L.F. Estoque de Carbono em florestas de *Pinus taeda* L. e *Acácia mearnsii* De Wild. Plantadas no estado do Rio Grande do Sul – Brasil. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.B.; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**. Curitiba. 2002. p.141-152.

SENNA, R.M.; WAECHTER, J.L. Pteridófitas de uma floresta com Araucária. 1 – Formas biológicas e padrões de distribuição geográfica. **Iheringia**, Porto Alegre, n.48, p.41-58, 1997.

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

SOCHER, L. G. **Dinâmica e biomassa aérea de um trecho de Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária, Paraná**. 2004. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, MUUKKONEN, P.; LEHTONEN A.; WEISS, P. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, n. 126, p.197-207, 2007.

SONEGO, R. C.; BACKES, A.; SOUZA, A. F. **Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não-paramétricos de riqueza e rarefação de amostras**. Acta botânica Brasílica, Belo Horizonte. v. 21, n. 4, p. 943-955, 2007.

SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear**. 1 ed. Brasília: EMBRAPA, 489 p. 1998.

SCHROEDER, P. Carbon storage potencial of short rotation tropical tree plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.50, p.31-41, 1992.

SOUZA, L de A.; CAIRES, D.N.; CARNEIRO, P.L.S.; MALHADO, C.H.M.; MARTINS FILHO, R. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado de Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p. 671-676, 2010.

THIERSCH, J.A.A.; PAULA NETO, F.; BRANDI, R.M. Análise de modelos volumétricos para a construção de tabelas de volume comercial para *Eucalyptus spp.*, segundo a espécie, região e métodos de regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v.2, n.1, p. 86-89, 1978.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, C.A.**Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, 1991, 124 p.

VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; TRÜBY, P. Quantificação de biomassa em uma floresta semidecidual em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v.16, p. 419-425. 2006.

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**. 2003. 120p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

WATZLAWICK, L.F., CALDEIRA, M.V.W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M.V., GODINHO, T.O., BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 353-362, set. 2012.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**SISTEMA DE BIBLIOTECAS**

**Recibo de Depósito Legal**

**Autor(es):** VITOR HUGO ZANETTE

**Título:** EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS DE BIOMASSA AÉREA PARA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO PARANÁ

**Instituição:** UFPR

**Programa de Pós-Graduação:** ENGENHARIA FLORESTAL

**Orientador:** PROF. DR. HENRIQUE SOARES KOEHLER

**Grau obtido:** DOUTORADO

**Data da aprovação:** 24/03/2017

**Data de entrega do trabalho:** 09/06/2017

Curitiba, 9 de junho de 2017

**Tania de Barros de Baggio**

Diretora do Sistema de Bibliotecas

Universidade Federal do Paraná