

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
CAMPUS DOIS VIZINHOS

RONIEL LOBO DA SILVA

**VOLUMETRIA E RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA UM FRAGMENTO  
ECÓTONO DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E OMBRÓFILA  
MISTA EM DOIS VIZINHOS, PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS  
2019

RONIEL LOBO DA SILVA

**VOLUMETRIA E RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA UM FRAGMENTO  
ECÓTONO DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E OMBRÓFILA  
MISTA EM DOIS VIZINHOS, PR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso Bacharelado em Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito para aprovação na disciplina.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Veridiana Padoin Weber  
Co-orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Elisabete Vuaden

DOIS VIZINHOS  
2019



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Dois Vizinhos  
Curso de Engenharia Florestal



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

VOLUMETRIA E RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA UM FRAGMENTO ECÓTONO  
DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E OMBRÓFILA MISTA EM DOIS  
VIZINHOS, PR

por

Roniell Lobo da Silva

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 26 de Junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Veridiana Padoin Weber  
Orientadora

---

Prof. Dr. Cesar Augusto Guimaraes Finger  
Membro titular (UTFPR)

---

Prof. Dr. Claudio Thomas  
Membro titular (UTFPR)

## Resumo

LOBO-SILVA, Roniel. **Volumetria e relação hipsométrica para um fragmento ecótono de Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila Mista em Dois Vizinhos, PR.** 2019, 51f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2019.

A cobertura vegetal do Sudoeste do Estado do Paraná é composta por duas fitofisionomias, sendo estas a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Ombrófila Mista, podendo ocorrer a presença dos dois tipos florestais em uma mesma localidade, sendo estas denominadas zonas de transição ou ecótono. O objetivo do presente trabalho é ajustar equações de regressão para estimar a altura, o volume total e comercial com casca de árvores de um fragmento de Ecótono localizado entre Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila Mista, na área de reserva legal na fazenda da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no município de Dois Vizinhos – PR. Para as estimativas das alturas, foram ajustadas 8 equações hipsométricas, com base em dados de diâmetro/altura de 221 árvores para a floresta, 213 árvores para para *Parapiptadenia rigida*, 133 árvores para *Matayba elaeagnoides* e 80 para a *Nectandra lanceolata*. Para o volume foram ajustadas 8 equações volumétricas, com os dados de 47 árvores cubadas, afim de determinar a de melhor ajuste. Com a cubagem de 47 indivíduos foi determinado o fato de forma artificial e o fator de casca. Para a escolha da equação hipsométrica e volumétrica foram considerados os parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), valor de F de Fischer calculado ( $f_{cal}$ ) e o erro padrão da estimativa em percentagem ( $Syx\%$ ), adotando um nível de probabilidade de erro de 5%, bem como a análise de dispersão gráfica dos resíduos e o gráfico de ajuste das alturas. Escolheu-se para a floresta a o modelo Heinrichsen (modelo 1), representando pela equação  $h=0,3556+4,67261*\ln(d)$ , com resultado de  $Syx\%$  de 24,47 e  $R^2_{aj}$  de 0,6166 o modelo de melhor ajuste, já para *P. rígida*, *M. elaeagnoides*, foi o modelo 4 (Näslund) representado pela equação  $h=d^2/(-3,14142+1,0157d+0,03279d^2)$  e pela equação  $h=d^2/(-1,28045+0,70853d+0,03914d^2)$  respectivamente, e o modelo 1 (Heinrichsen) representado pela equação  $h=-3,4118+5,82764\ln(d)$  para *N. lanceolata*. Para as equações de volume total e comercial com casca, foi identificado o modelo de Meyer ( $v=0,14313-0,02396d+0,0012d^2+0,00304dh+0,00005867d^2h-0,01953h$   $Syx\%$  de 19,58 e  $R^2_{aj}$  de 0,988). O fator de forma artificial para o volume total foi de 0,8042, enquanto o fator de forma artificial para o volume comercial foi de 0,6862 e o fator de casca foi de 0,9414.

**Palavras-chave:** Floresta nativa, Smalian, Manejo florestal, Fator de forma, Fator de casca.

## Abstract

LOBO-SILVA, Roniel. **Volumetry and hypsometric relation for an ecotone fragment of Semideciduous and Mixed Ombrophylous Seasonal Forest in Dois Vizinhos, PR.** 2019, 51f. Course Completion Work - Department of Forest Engineering, Federal Technological University of Paraná, Dois Vizinhos, 2019.

The vegetation cover of the Southwest of the State is composed by two phytophysiognomies, being a Semideciduous Seasonal Forest and Mixed Ombrophilous Forest, one of the two occurrences in different areas, these being called transition or ecotone zones. The present project is a total of data for a forest and three species of economic interest, the total and commercial volume with bark, the artificial form factor and the bark factor for a coffee fragment, located in the legal reserve on the farm of the University Tecnológica Federal do Paraná in the municipality of Dois Vizinhos in the municipality of Dois Vizinhos-PR. The two heights were adjusted in 8 hypsometric equations, based on data from 221 trees to the forest, 213 for *Parapiptadenia rigida*, 133 for *Matayba elaeagnoides* trees and 80 for *Nectandra lanceolata*. For the volume were adjusted 8 volumetric equations, with the data of the 47 species cubed, in order to determine a better fit. With a cubing of 47 the articular fact and the shell factor were selected. For the choice of the body and volumetric equation, we considered the statistical parameters: coefficient of determination of fit ( $R^2_{aj}$ ), calculated Fischer F value ( $f_{cal}$ ) and standard error of the percentage exposure ( $Syx\%$ ), adopting a level of error of 5% error, as well as a graphical dispersion analysis of the residues and the height adjustment graph. It was chosen for the forest model (model 1), constructed by the equation  $h=0,3555+4,67261\ln(d)$ , with the result  $Syx\%$  of 24; 47 and  $R^2_{aj}$  of 0,6166 the best fit model, for *Parapiptadenia rigida*, *Matayba elaeagnoides*, was model 4 (Näslund) represented by the equation  $h=d^2/(-3,14142+1,0157d+0,03279d^2)$  and the model 1 (Heinricksen) represented by the equation  $h=-3,4118+5,82764\ln(d)$  for *Nectandra lanceolata*. For total and commercial volume equations, the Meyer model was identified ( $v=0,14313-0,02396d+0,0012d^2+0,00304dh+0,00005867d^2h-0,01953h$   $Syx\%$  of 19.58 and  $R^2_{aj}$  of 0.988). The artificial form factor for the total volume was 0,8042, while the artificial form factor for the commercial volume of 0,6862 and the shell factor was 0,9414.

**Keywords:** Native forest, Smalian, Forest management, Form factor, Bark factor.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	6
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	8
2.1 OBJETIVO GERAL.....	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	9
3.1 ECÓTONO ENTRE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E FLORESTA OMBRÓFILA MISTA .....	9
3.2 VOLUMETRIA EM FLORESTA NATIVA .....	10
3.3 EQUAÇÕES DE VOLUME .....	11
3.4 FATOR DE FORMA E FATOR DE CASCA .....	13
3.5 HIPSOMETRIA EM FLORESTAS NATIVAS .....	14
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	16
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	16
4.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO .....	17
4.2.1 CUBAGEM RIGOROSA, FATOR DE FORMA E CASCA .....	18
4.2.3 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	20
4.2.3 ESTIMATIVAS DOS VOLUMES PELAS EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS .....	21
<b>5 RESULTADOS E DISCUÇÕES</b> .....	22
5.1 FATOR DE FORMAR E FATOR DE CASCA.....	22
5.2 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	23
5.2.1 Relação Hipsométrica da Floresta .....	23
5.2.2 Relação Hipsométrica por espécies .....	26
5.3 EQUAÇÕES DE VOLUME .....	28
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	33

## 1 INTRODUÇÃO

A cobertura vegetal do Sudoeste do estado do Paraná é composta por duas fitofisionomias, sendo estas a Floresta Ombrófila Mista (FOM) e a Floresta Estacional Semidecidual (FES) (GORENSTEIN et al., 2010). A FOM também conhecida como Floresta de Araucária, tem como principal característica a predominância da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze 1998, associadas a diversas outras espécies arbóreas (WEBER; SANQUETTA; EISFELS, 2005). Já as FES, segundo Espírito-Santo (2006) e Campos et al. (2010), sofre influência de dois diferentes períodos climáticos, sendo eles chuva e seca, o que atribui à vegetação a característica de perder pelo menos 50% das folhas na estação seca do ano, permitindo o controle da perda de água para o ambiente, sendo que no Sul do Brasil a seca é fisiológica devido ao frio.

É comum a ocorrência de florestas com características das duas unidades em uma mesma localidade, sendo chamados de locais de transição entre um bioma e outro, podendo serem chamadas de zonas ecotonais. Devido à vasta exploração ilegal dos recursos presentes nessas unidades que apresentam uma alta biodiversidade, principalmente a retirada de indivíduos de *Araucaria angustifolia*, se faz necessário a quantificação dos recursos ainda existentes.

Para a quantificação de recursos florestais é necessário a mensuração das variáveis diâmetro à altura do peito (dap), altura e volume dos indivíduos da floresta. Segundo Carielo (2008), a variável dap é facilmente medida para todas as árvores, porém, a mensuração das alturas só é realizada para alguns indivíduos, sendo as demais estimadas pela hipsometria. A mensuração de apenas alguns indivíduos dentro da floresta é devido a visibilidade reduzida, dificultando a visualização da copa das árvores, além da redução de custos.

Além da relação hipsométrica, a volumetria tem por finalidade determinar os volumes individuais ou de uma floresta como um todo. Segundo Sanquetta et al. (2014), o volume de um povoamento é geralmente obtido tomando-se uma amostra do mesmo e posterior extrapolação para o restante da população. Caso não seja possível a cubagem das árvores em uma amostra, o volume pode ser determinado por um fator de forma conhecido e pela altura total ou comercial das árvores estimadas pela relação hipsométrica. Esse volume pode ser calculado com casca ou sem casca através da utilização de um fator de casca, conforme o destino comercial do mesmo.

Em sua maioria os estudos referentes a volumetria em florestas nativas se atêm aos biomas Amazônia e Cerrado, visto a maior possibilidade de manejo (CORREIA; FANTINI;

PIAZZA, 2017). Referente a Mata Atlântica, alguns estudos de volumetria foram realizados por Scolforo, Mello e Lima (1994) para FES em MG, por Borsoi (2004) e Santos et al. (2009) para FOM no RS e PR, respectivamente.

No entanto, estudos de volumetria para zonas de transição entre os dois biomas, FES e FOM, ainda são escassos. Sendo assim, se faz necessário estudos de volumetria e relação hipsométrica para o ecótono, visto que o ajuste de equações volumétricas e hipsométricas são o procedimentos eficientes, econômicos e com precisão aceitável para a quantificação da produção florestal.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo ajustar equações de regressão para estimar a altura, o volume total e comercial com casca de árvores de um fragmento de Ecótono localizado entre Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila Mista, na área de reserva legal na fazenda da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no município de Dois Vizinhos – PR.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cubar indivíduos de diferentes espécies e diâmetros, advindos do fragmento florestal;
- Ajustar diferentes equações hipsométrica a fim de determinar a que melhor representa a floresta e as espécies *Parapiptadenia rigida*, *Matayba elaeagnoides* e *Nectandra lanceolata*;
- Determinar um fator de forma e um fator de casca para o fragmento florestal;
- Ajustar diferentes modelos volumétricos a fim de determinar o que melhor representa o fragmento florestal ecótono, considerando volume total e comercial com casca.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ECÓTONO ENTRE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

O estado do Paraná, no começo do século XX contava com 83,4% de sua área coberta por florestas nativas em que no decorrer dos anos esta cobertura foi explorada como consequência da colonização com base agrícola e agropecuária, restando apenas 5,2% (LOUREIRO, 2004). Contudo, o estado detém apenas 2,5% da superfície do país e apresenta em grande maioria as principais unidades fitogeográficas de ocorrência no Brasil, (GERLDINO; CAXAMBU; SOUZA, 2010).

Na região sudoeste do estado do Paraná destacam-se duas fitofisionomias, a Floresta Ombrófila Mista (FOM) e a Floresta Estacional Semidecidual (FES) (BRITZ, 2005; GERALDINO; CAXAMBU; SOUZA, 2010; GORENSTEIN et al., 2010). A FES, que segundo Campos e Silveira-Filho (2010), é caracterizada por perder cerca de 50% de suas folhas na estação seca ou fria do ano, como forma de controle da evapotranspiração. Situa-se nas regiões norte e oeste do estado e nos vales dos cursos hídricos que formam a bacia do Rio Paraná, em altitudes menores que 800 metros do nível do mar, em geral coincidindo com a denominada “terra roxa” (CAMPOS e SILVEIRA-FILHO, 2010; RODERJAN et al., 2002).

Esta fitofisionomia pode apresentar espécies como a *Cordia americana* (L.) Gottschling & J. S.Mill, *Bastardiopsis densiflora* (Hook. & Arn.) Hassl, *Inga marginata* Willd e *Holocalyx omphalandra*, conforme estudo de Bianchini et al. (2003) e Scipioni et al. (2011). De modo geral, a FES é considerada a segunda principal fitofisionomia do bioma Mata Atlântica e também a mais ameaçada de extinção (CAMPOS; SILVEIRA-FILHO, 2010).

Outra fitofisionomia encontrada na região sudoeste do estado do Paraná é a FOM, caracterizada por Britz (2005), como uma mistura de duas floras distintas, influenciadas diretamente pela altitude e longitude, onde os indivíduos de *Araucaria angustifolia* formam o andar superior da floresta. Localiza-se nas porções oeste da Serra do Mar, segundo Roderjan et al (2002) e Geraldino, Caxambú e Souza (2010), ocupando as áreas planálticas do estado, ocorrendo geralmente entre 800 e 1200 metros de altitude, contudo podendo eventualmente ocorrer em altitudes superiores.

Segundo Saueressig (2012), uma espécie indicadora da FOM, além da *Araucaria angustifolia* é a *Mollinedia clavigera* Tul, contudo espécies como *Casearia obliqua* Spring, *Casearia sylvestris* Sw, *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil, *Cupania vernalis* Cambess, *Ocotea*

*indecora* (Schott) Mez, *Ocotea silvestres* Vattimo-Gil e a *Gymnanthes klotzschiana* Müll. Arg. são geralmente encontradas nesse tipo de fitofisionomia (SOUZA et al., 2011).

De acordo com Roderjan et al. (2002) estas fitofisionomias podem ser encontradas na forma de ecótonos, caracterizado pela interação de espécies características de duas grandes unidades fitogeográficas já existentes. Quando duas ou mais fitofisionomias existem próximas ao ponto que se contatam, justapondo-se ou interpenetrando-se, identificam-se essas regiões como ecótonos (IBGE, 1992).

Ecótonos não apresentam apenas plantas e animais características de cada comunidade fitofisionômicas, mas também espécies exclusivas que sustentam uma comunidade com características distintas das adjacentes (ODUM, 1988). Nessas regiões, é comum a ocorrência de uma alta biodiversidade e características fitofisionômicas de difícil distinção (PINHEIRO et al., 2009; HAIDAR et al., 2013).

Nas zonas ecotonais entre as fitofisionomias FOM e FES, pode-se notar um avanço da FES em direção a FOM, sendo este fato justificado pela vasta exploração dos indivíduos de *Araucaria angustifolia* (BRITZ, 2005). Smith (1997) e Durigan et al. (2008) relatam o baixo números de estudos sobre estas áreas e a importância da inserção destas em programas de conservação e monitoramento.

### 3.2 VOLUMETRIA EM FLORESTA NATIVA

A volumetria é uma ferramenta da dendrometria, que tem por finalidade determinar por meio da cubagem rigorosa ou por estimativas utilizando modelos matemáticos, os diferentes tipos de volumes que podem ser encontrados em uma árvore. De acordo com Soares, Neto e Souza (2012), pode-se dividir o volume de uma árvore em 5 diferentes tipos no decorrer do seu fuste, sendo estes, volume do toco, fuste comercial, galhos comerciais, fuste não comercial e galhos pequenos e não comerciais.

Deste modo, a determinação do volume para uma floresta é de extrema importância no diagnóstico do potencial madeireiro, além de auxiliar na elaboração do plano de manejo é uma variável muito utilizada na comercialização de produtos florestais madeiráveis (CUNHA, 2004), e sua determinação pode ser realizada pelo método direto ou indireto.

O método direto é aquele que define o verdadeiro volume da árvore, sendo o xilômetro uma ferramenta para sua obtenção. Este, consiste na utilização de um tanque com água onde são colocadas as toras, medindo o volume de água deslocado através de uma régua graduada, sendo este o volume equivalente de madeira (CUNHA, 2004; SOARES et al.,

2012). Além deste, a cubagem utilizando fórmulas matemáticas é muito utilizada na determinação do volume, sendo os métodos de Huber, Smalian e Newton os mais utilizados (CUNHA, 2004; FINGER, 2006; SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012).

Ambos os métodos são semelhantes, sendo a diferença básica entre eles a determinação do volume das secções. Para Huber basta apenas uma medida de diâmetro tomada na metade de cada secção, enquanto Smalian considera duas medidas, sendo elas tomadas nas extremidades de cada secção, já Newton considera três medidas na qual é feito uma média ponderada entre elas, sendo os diâmetros tomados em cada método utilizado para o cálculo de área transversal (CUNHA, 2004; FINGER, 2006; SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012).

Para a determinação do volume total da árvore, deve-se calcular o volume da ponteira, sendo esta considerada como um cone, e do toco (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012). Fazendo a somatória de todos os volumes se obtém o volume total da árvore, no entanto, para a determinação do volume comercial, se faz a somatória dos volumes encontrados apenas nas secções que apresenta diâmetro do tamanho desejado (CUNHA, 2004; SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012).

No entanto, apesar das diferenças para o cálculo do volume das secções em cada método de cubagem, Dutra et al. (2013) e Souza et al. (2017), retratam que apesar de encontrarem resultados diferentes no cálculo de volume para cada secção, os mesmos não diferem estatisticamente entre si. Sendo assim, a escolha do método a ser usado indiferente, ficando a critério da equipe que realizará o trabalho.

### 3.3 EQUAÇÕES DE VOLUME

Além dos métodos de cubagem rigorosa existem as equações de volume, que consiste na obtenção do volume através de estimativas utilizando modelos matemáticos já pré-estabelecido (JURHOSA, 2016). Segundo Machado, Conceição e Pinheiro (2002), equações volumétricas são muito utilizadas na estimativa de volume, sendo o mesmo uma variável dependente, enquanto que as variáveis diâmetro e altura são as independentes.

Segundo Soares, Paula Neto e Souza (2012), os mesmos dados utilizados na cubagem rigorosa serão utilizados nas equações de volume, sendo que as árvores escolhidas para cubagem rigorosa devem ser representativas da distribuição diamétrica, ou seja, devem abranger todas as classes de diâmetro. Os mesmos autores ainda ressaltam que deve-se cubicar um número de árvores suficiente para caracterizar a variância dos volumes dentro das classes

diamétricas, de modo geral na prática normalmente são cubadas de 5 a 7 árvores por classes diamétricas.

Ao longo dos anos diversas equações foram desenvolvidas e acabaram se consagrando devido a sua utilização para diversas espécies e situações diferentes (MACHADO; CONCEIÇÃO; PINHEIRO, 2002). Os mesmos autores descrevem que nem sempre esses modelos serão os indicados para todas as situações, assim recomenda-se testar diferentes modelos e, baseado na análise estatística e gráfico de resíduos, definir qual o melhor.

Para esta escolha são considerados, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2aj$ ), o valor de F de Fischer calculado ( $f_{cal}$ ) e o erro padrão da estimativa em percentagem ( $Syx\%$ ), adotando um nível de probabilidade de erro de 5% ( $t$  de Student), bem como a análise de dispersão gráfica dos resíduos (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012). O  $R^2aj$  informa a porcentagem que os dados observados variam em torno da média que está sendo explicada pela equação ajustada (BARTOSZECK et al., 2002; SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012; TONINI; BORGES, 2015).

No entanto, o valor de  $f_{cal}$  e o  $t$  são obtidos através da análise de variância da regressão (ANOVA). Deve-se considerar que se o  $f_{cal}$  for maior que o  $f_{tab}$  a regressão existe, isto é, os dados são representados pela equação (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012). Bem como, o  $t_{cal}$  deve ser maior que o  $t_{tab}$  para que a equação seja representativa dos dados (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012).

Já o  $Syx\%$  representa o erro médio associado a equação, assim como a dispersão dos resíduos, segundo Soares, Paula Neto e Souza (2012). O mesmo autor ainda ressalta que “o comportamento desejável de um gráfico de resíduo é aquele que os resíduos se apresentam uniformemente distribuídos, independentemente do tamanho da árvore e próximos de zero”.

Utilizando 12 modelos volumétricos objetivando definir qual o melhor modelo para a Flona do Tapirapé-Aquirí, Rolim et al. (2006), concluíram que o mais adequado é o modelo de dupla entrada de Schumacher-Hall, podendo ser usado também o modelo de simples entrada de Husch. Já Tonini e Borges (2015), utilizando 9 modelos para a estimativa de volume de madeira para uma Floresta Ombrófila Densa de terra firme, concluíram que o mais indicado é o de Schumacher-Hall, podendo ser usado o modelo de Kopezki-Gherardt quando não for utilizado dado de altura comercial.

### 3.4 FATOR DE FORMA E FATOR DE CASCA

De acordo com Cunha (2004) e Finger (2006), o fator de forma é uma constante que deve ser multiplicada pela área transversal e a altura da árvore, com o objetivo de reduzir o volume de um cilindro para o volume real do indivíduo. O mesmo pode ser dado através da divisão do volume real pelo volume do cilindro, sendo o resultado deste cálculo um valor menor do que um. Já o volume real pode ser obtido pela realização da cubagem rigorosa ou pelo xilômetro (CUNHA, 2004; FINGER, 2006).

Segundo Finger (2006), o fator de forma é a terceira variável, ficando atrás do diâmetro e altura, em ordem de importância, na determinação volumétrica, sendo o crescimento em altura o elemento com maior influência no fator de forma. O fator de forma pode ser dividido em dois tipos, fator de forma artificial e fator de forma natural (SCHNEIDER, 1986; CUNHA, 2004; FINGER, 2006).

O fator de forma artificial é obtido através da razão entre o volume rigoroso da árvore (total ou parcial), tomado em relação ao volume de um cilindro, cuja a altura e o diâmetro (tomado a 1,3m) sejam idênticos aos da árvore considerada (FINGER, 2006). O fator de forma artificial para duas árvores que apresenta a mesma forma geométrica, diminui com o aumento da altura, isso se dá pelo fato das árvores apresentarem formas variáveis, sendo recomendável o uso de um a fator de forma artificial por classe diamétrica (FINGER, 2006).

Já o fator de forma natural, é obtido através da razão entre o volume rigoroso da árvore e o volume de um cilindro com o diâmetro (tomado a 1/10 da altura total) e altura igual à da árvore considerada (FINGER, 2006). O autor afirma que, duas árvores com a mesma forma geométrica, porém com diferentes alturas, possuem distintos fatores de forma artificial e fatores de forma natural equivalentes.

O fator de casca é dado através da razão entre o diâmetro sem casca e o diâmetro com casca, e essa relação é considerada constante ao longo do tronco, ou seja, a medida que o diâmetro com casca diminui o diâmetro sem casca também é reduzido, e conseqüentemente o fator de casca também diminui (FINGER, 2006).

Quando se deseja rapidez no inventário florestal e não se tem informações sobre a forma das árvores, o fator de forma e o fator de casca é uma alternativa com a finalidade de quantificar a produção madeireira de uma floresta (JURHOSA, 2016). A determinação da espessura da casca e sua variação ao longo do fuste é de grande importância, visto que é

necessário conhecer o volume de madeira sem casca, uma vez que esta determinará a forma de comercialização da madeira (FINGER, 2006).

Inúmeros trabalhos vêm sendo realizados na busca da determinação de uma equação volumétrica, um fator de forma e um fator de casca, no entanto o foco principal das pesquisas é voltado para florestas plantadas, deixando aberta a possibilidade de novas pesquisas em florestas nativas.

Um dos trabalhos pioneiros nessa área é o do Scolforo, Melo e Lima (1994), onde os mesmos testaram 19 equações volumétricas para um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana, comparando os resultados encontrados, com os resultados utilizando um fator de forma para diferentes classes diamétricas, diferentes espécies dentro do fragmento e para a floresta como um todo. Os mesmos autores concluíram que apesar das estimativas serem estatisticamente iguais, é preferível a utilização de equações volumétricas ao fator de forma, pelo fato de que a mesma proporciona estimativas médias com menores erros percentuais em relação as medidas reais.

Já Correia, Fantini e Piazza (2017), testando 6 modelos de equações volumétricas para um fragmento de Floresta Ombrófila Densa, comparando os resultados encontrados com as equações, e com os resultados utilizando fator de forma e de casca, concluíram que todos os modelos testados apresentaram bom resultado e que não houve diferença significativa entre o volume obtido por equações e o volume obtido pelos fatores de forma. Entretanto, o autor cita que é preferível a utilização da equação por apresentar menor dispersão de resíduos, porém para a estimativa do volume sem casca, o fator de casca apresentou menor dispersão de resíduos, sendo preferível a utilização do mesmo.

### 3.5 HIPSOMETRIA EM FLORESTAS NATIVAS

A relação existente entre o diâmetro e a altura é denominada de “Relação Hipsométrica” a qual geralmente é representada pela simbologia “h/d” (CUNHA, 2004). Segundo Sena et al. (2015), a relação hipsométrica objetiva estimar a altura das árvores que não foram medidas a campo, em função do dap, utilizando modelos de regressão.

Bartoszeck et al. (2002), ressaltam que o uso de modelos que consideram sítio, idade e densidade são de difícil obtenção, além de aumentar os custos para a obtenção dessas variáveis, o que justifica a utilização apenas do diâmetro e altura para modelos de regressão. Toda via, Soares, Paula Neto e Souza (2012), sugerem que quando utilizada de maneira correta, a relação diâmetro/altura é de fundamental importância nos levantamentos florestais,

pois a mesma pode determinar a altura das árvores apenas medindo o seu diâmetro, assim reduzindo custos, no entanto diminuindo a precisão das medidas das alturas.

Atualmente encontra-se diversos modelos de equações hipsométrica na literatura, onde as mesmas tem a regressão como uma ferramenta de fundamental importância, pois através dela deve-se ajustar os coeficientes  $\beta$ 's da equação de interesse, afim realizar as estimativas das alturas através dos mesmos. No entanto, Soares, Paula Neto e Souza (2012), ressaltam que não basta somente fazer o ajuste dos coeficientes, mas também avaliar a significância desses coeficientes, as medidas de precisão da equação ajustada e o comportamento gráfico dos resíduos, para definir se a equação é representativa do povoamento.

Testando 9 modelos de equação hipsométrica para um fragmento de Floresta Estacional Decidual, onde os modelos foram ajustados com todos os dados obtidos nas duas áreas de coleta, e posteriormente empregado a estratificação por classes diamétrica, Trautenmüller et al. (2014), concluíram que o modelo de Näslund foi o que apresentou os melhores ajustes estatísticos.

Já Curto et al. (2014), testando 8 modelos hipsométrico para um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, concluíram que foi o modelo de Trorey o mais indicado para estimar altura total das árvores sem estratificação. O mesmo ainda conclui que as estimativas de altura para as três formas de estratificação, não diferenciaram estatisticamente daquelas sem o uso estratificado.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo do presente trabalho encontra-se localizada na reserva legal da fazenda do campus de Dois Vizinhos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-DV). A universidade está localizada na Estrada para Boa Esperança, Zona Rural do município, nas coordenadas 25°41'30''S de latitude e 53°06'04"W de longitude. O tipo de floresta é uma área de transição entre a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2004), com uma área de 48 hectares.

O clima da região de acordo com a classificação de Koppen, é do tipo Cfa subtropical úmido não apresentando estação seca bem definida, com a temperatura inferior a 18°C nos meses mais frios e a cima dos 22°C nos meses mais quentes, com a precipitação média anual variando de 1.800 a 2.200 mm (IAPAR, 2010). De acordo com EMBRAPA (2006) os solos de Dois Vizinhos são predominantes de latossolos e nitossolos.

## 4.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO

Para a coleta de dados foram utilizadas 9 parcelas permanentes instaladas pelo grupo de pesquisa em Manejo Florestal da UTFPR-DV, com recursos do CNPq do edital de chamada universal sob o processo número 46032/2014-5. Cada unidade amostral apresenta uma área de 2400m<sup>2</sup> (80mx30m), subdivida em 24 sub-parcelas de 100m<sup>2</sup> (10mx10m), as quais foram submetidas a 3 tratamentos (T1, T2 e T3).

O T1 consiste nas áreas testemunhas, sem manejo. Já no T2 foi realizado a erradicação da uva-do-Japão com enriquecimento de espécies de uso comercial e o T3 tem por finalidade o manejo da uva-do-Japão e de outras espécies nativas de maior ocorrência no fragmento, com enriquecimento de espécie de uso comercial.

Utilizando os dados de inventário de 2017 realizados nas 9 parcelas, foram remediados alguns indivíduos cujo o número foi calculado pela intensidade amostral, considerando uma população finita. Este, foi efetuada para os dados gerais, e para 3 espécies de interesse econômico, sendo estas: *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Matayba elaeagnoides* (Radlk) e *Nectandra lanceolata* (Nees).

A intensidade amostral resultou em 213 árvores para os dados gerais, 221 árvores para *P. rigida*, 133 árvores para *M. elaeagnoides* e 80 para a *N. lanceolata*. Utilizando a fórmula de Sturges (1) foi realizado a classificação diamétrica para os dados gerais e para cada espécie estudada.

$$nc = 1 + 3,3 \log n \quad (1)$$

Em que: nc = número de classes diamétricas; n = número de observações.

O intervalo de classe foi obtido pela razão entre a amplitude total e o número de classes obtidos pela fórmula 1, resultaram em 9,47cm para os dados gerais. As 14 classes resultantes variaram do menor dap, que foi 4,3cm, até o maior dap, sendo este de 128,92cm. Já para as espécies foi utilizado a mesma metodologia, contudo a amplitude de classe e o número de classes variou de acordo com os dados por espécie.

Para a *P. rigida*, a amplitude de classe foi de 8,52cm, variando do menor dap, que foi de 4,4cm, até o maior dap, que foi de 98cm, resultando em 11 classes. Já para a *M. elaeagnoides*, a amplitude de classe foi de 5,28cm, indo do menor dap, que foi de 4,74cm, até o maior dap, que foi de 62,71cm, resultando em 11 classes. Enquanto que a *N. lanceolata*, obteve uma amplitude de classe de 5,79cm, partindo do menor dap, que foi de 4,3cm, até o maior dap, sendo este de 44,72cm.

O número de árvores resultantes do cálculo de intensidade amostral foi distribuído dentro das classes diamétricas. Em seguida, foram coletadas todas as circunferências à altura do peito (cap), superiores a 15cm utilizando uma fita métrica e mensurada todas as alturas destes indivíduos utilizando o hipsômetro Vertex IV.

#### 4.2.1 Cubagem rigorosa

O volume individual total (2) e o volume comercial (3) com casca para o fragmento florestal foram obtidos através da cubagem rigorosa de 47 árvores, de diferentes espécies, utilizando o método de Smalian. Os diâmetros foram coletados nas posições 0,10m, 0,30m, 0,70m, 1,30m e assim sucessivamente de metro em metro até alcançar o diâmetro mínimo de 5 cm, o qual foi considerado como altura comercial.

$$v_t = v_0 + \sum_{i=1}^n v_i + v_c \quad (2)$$

Em que:  $v_t$  = volume total da árvore ( $m^3$ ),  $v_0$  = volume do toco ( $m^3$ ),  $v_i$  = volume das secções intermediárias ( $m^2$ ) e  $v_c$  = volume do cone.

$$v_{co} = \sum_{i=1}^n v_i \quad (3)$$

Em que:  $v_{co}$  = volume comercial da árvore ( $m^3$ ),  $v_i$  = volume das secções intermediárias ( $m^2$ ).

Após a cubagem mensuraram-se as espessuras simples de casca nas respectivas posições onde foram tomados os diâmetros, segundo o método de Smalian. Estas foram duplicadas para posteriormente serem descontadas do valor de diâmetro coletados a campo, a fim de determinar o fator de forma e fator de casca.

#### 4.2.2 Fator de forma e fator de casca

O fator de forma e o fator de casca foi calculado considerando 47 árvores advindas do Tratamento 3 realizado pelo grupo de manejo florestal da UTFPR, com o objetivo de representar a floresta.

Para a obtenção do fator de casca (4) para cada indivíduo foi necessário calcular a razão do somatório dos diâmetros sem casca pelo somatório dos diâmetros com casca ao longo do fuste. De tal modo, este foi calculado para os dados gerais e por espécie, visto que se trata de uma floresta nativa.

$$K = \frac{\sum d_{sc}}{\sum d_{cc}} \quad (4)$$

Em que: K = fator de casca,  $d_{sc}$  = diâmetro sem casca (cm) e  $d_{cc}$  = diâmetro com casca (cm).

O fator de forma artificial (5) foi calculado através da razão entre o volume rigoroso obtido pela cubagem e o volume do cilindro. O volume do cilindro foi aquele resultante do produto entre a área transversal do diâmetro à altura do peito, e a altura total do indivíduo.

$$f_{1,3} = \frac{v_r}{v_c} \quad (5)$$

Em que:  $f_{1,3}$  = fator de forma artificial,  $v_r$  = volume rigoroso ( $m^3$ ) e  $v_c$  = volume do cilindro ( $m^3$ ).

### 4.3 Relação Hipsométrica

Com os dados de altura e diâmetro das 217 árvores foram testadas 8 equações hipsométricas (Tabela 1), buscando selecionar um modelo de melhor ajuste para a população. Além disso, os mesmos modelos foram testados nas 3 espécies estudadas, com a finalidade de encontrar um modelo por espécie.

Tabela 1. Modelos de relação hipsométrica utilizados para realização da análise de regressão e seleção do modelo para a floresta e por espécie.

Número	Modelo	Denominação
1	$h = \beta_0 + \beta_1 \ln(d)$	Heinricksen
2	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d)$	Stoffels
3	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1/d$	Curtis
4	$h = d^2/(\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2)$	Näslund
5	$\ln h = \beta_0 + \beta_1/d + \beta_2 d$	-
6	$h = \beta_0 + \beta_1 d$	Linear Simples
7	$\log(h) = \beta_0 + \beta_1 d$	Logarítmica
8	$h - 1,30 = \beta_0 + \beta_1 d$	-

Em que: h = altura total (m); d = diâmetro (cm); ln = logaritmo neperiano; log = logaritmo decimal;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes de regressão.

A escolha da equação teve como base os parâmetros estatísticos, coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) (6), valor de F de Fischer calculado ( $f_{cal}$ ) e o erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ ) (7), adotando um nível de probabilidade de erro de 5%, bem como a análise de dispersão gráfica dos resíduos. Toda a estatística foi calculada através da análise de regressão linear realizada no software *Statistical Analysis System* (SAS).

$$R^2_{aj} = 1 - \left( \frac{n-1}{n-p-1} \right) * \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \quad (6)$$

Em que:  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado, n = número de dados (tamanho da amostra), p = número de variáveis independentes do modelo em questão,  $SQ_{res}$  = soma de quadrado do resíduo,  $SQ_{tot}$  = soma de quadrado total.

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{(Y_i - Y_e)^2}{n-p}} \quad \text{e} \quad S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{Y_m} * 100 \quad (7)$$

Em que:  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa,  $S_{yx}\%$  = erro padrão da estimativa em percentagem,  $Y_i$  = altura observada (m),  $Y_e$  = altura estimada (m),  $Y_m$  = altura média observada, n = número de dados observados, p = número de coeficientes do modelo.

#### 4.4 Modelo Volumétricos

Com os diâmetros e alturas das 47 árvores cubadas, foram testadas 8 equações volumétricas (Tabela 2), com o objetivo de escolher a que melhor estima o volume comercial e total com casca para a floresta. Para realizar a escolha da equação, foram considerados os mesmos parâmetros estatísticos de escolha das equações hipsométricas.

Tabela 2. Modelos de equação volumétricas utilizados para realização da análise de regressão e seleção do modelo que melhor representa o volume total e comercial da floresta.

Número	Modelo	Denominação
1	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2$	Kopezky-Gherardt
2	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$	Spurr
3	$v = \beta_0 + \beta_1 d$	Berkout
4	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	Hohenadl-Kren
5	$v = \beta_1 d + \beta_2 d^2$	Dissescu-Meyer
6	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 dh + \beta_4 d^2 h + \beta_5 h$	Meyer
7	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h$	Stoate
8	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 dh + \beta_4 h$	-

Onde:  $v$  = volume ( $m^3$ );  $h$  = altura (m);  $d$  = diâmetro (cm);  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes de regressão.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Fator de formar e fator de casca

O cálculo do fator de forma foi realizado para o volume total, resultando em um valor de 0,8042, para a floresta. Correia et al. (2017), para formação florestal secundaria para Floresta Estacional Densa (FOD) na região de Guaramirim-SC encontrou valor de fator de forma total de 0,8027, muito próximo do valor encontrado no presente trabalho.

Borsoi (2004), para Floresta Ombrófila Mista no estado do Rio Grande do Sul, encontrou fator de forma de 0,77, Scolforo et al.(1994) para Floresta Estacional Semidecidual situada em Minas Gerais, apresentaram fator de forma de 0,827, e Colpini et al. (2009) em fragmento de Floresta Ombrófila Aberta (FOA) no município de Cotriguaçu – MT, encontraram fator de forma de 0,7424. O que demonstra que mesmo com a variação da metodologia aplicada para cubagem dos indivíduos utilizados como base de dados para o cálculo do fator de forma, a variabilidade dos valores encontrados para esse fator é esperado para florestas nativas (CORREIA et al., 2017).

Para o volume comercial para a floresta, apresentou um valor inferior ao encontrado para o volume total de 0,6862 contudo Spathelf et al. (2001) encontrou valores de fator de forma comercial que variavam de 0,3 a 0,6 em estudo realizado na Barragem de Val de Serra, no município de Itaára em Santa Catarina. Os valores encontrados foram semelhantes, contudo a grande variação nos valores de Spathelf et al. (2001) foram identificados pela grande variação de espécies identificados no local da pesquisa.

O fator de casca (k) obtido em relação ao volume total para a floresta foi de 0,9414, resultado semelhante ao encontrado por de Borsoi (2004) de 0,9456, por Schuch et al. (2008) de 0,91, Colpini et al. (2009) de 0,9620 e Correia et al. (2017) de 0,9301. Estudos que relatam essa variável são escassos para espécies e florestas presentes na Mata Atlântica, contudo os valores encontrados são próximos aos dos autores citados comparativamente, atenta-se que seria mais adequando uma comparação entre formações florestais semelhantes e entre espécies quando possível (CORREIA et al., 2017).

Contudo, os valores encontrados para o fator de forma e para o fator de casca, são pouco representativos para a floresta, visto a quantidade de indivíduos amostrados. Tal fato, se dá devido ao aproveitamento de dados advindos dos tratamentos realizados pelo grupo de manejo florestal da UTFPR, os quais não abrangem todas as espécies identificadas no fragmento florestal.

## 5.2 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

### 5.2.1 Relação hipsométrica da floresta

Os coeficientes e estatísticas, de escolha para a relação hipsométrica que melhor representa a floresta, resultantes do ajuste de 8 modelos estão apresentados na tabela 3. Nela pode-se observar que os  $R^2aj$  variaram de 0,4295 até 0,9622. Dados hipsométricos de 11 espécies presentes em uma floresta Estacional Semidecidual Montana, no município de Viçosa – MG, apresentaram variação semelhante no coeficiente, contudo estas apresentaram  $R^2aj$  acima de 0,60 (SOARES et al. (2011)).

Tabela 3. Coeficientes de regressão e parâmetros estatístico obtidos no ajuste dos modelos para relação hipsométrica para o fragmento florestal ecótonal de FOM e FES.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$R^2aj$	$Syx\%$
1	0,36439	0,15646		0,6166	24,47
2	1,35103	0,42380		0,5191	12,66
3	2,88823	-4,49111		0,5248	12,59
4	0,72168	0,72150	0,04282	0,9622	33,73
5	2,70711	-3,67152	0,00586	0,5329	12,51
6	7,22870	0,28331		0,564	26,09
7	0,86417	0,01062		0,4295	13,8
8	5,92877	0,28331		0,564	29,7

Já em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, no Norte do estado do Rio de Janeiro, de acordo com Andrade et al. (2006), foram encontrados coeficientes de determinação variando entre 0,614 e 0,745 para a relação hipsométrica. Curto et al. (2014) encontrou resultados idênticos ao de Andrade et al. (2006), contudo para o mesmo tipo florestal na cidade de Guaçuí – ES, com coeficientes que variavam entre 0,60 e 0,748.

A equação que assemelhou-se aos resultados encontrados pelos três autores em florestas com uma das fitofisionomias que compõe o ecótono do presente estudo, foi a equação 1. De acordo com Curto et al. (2014), coeficientes de determinação ajustados, assim como os erros encontrados dentro desses resultados, são considerados aceitáveis, visto que trata-se de uma floresta inequiâneas.

Este tipo de comportamento sobre os parâmetros estatísticos para escolha de uma equação hipsométrica que melhor representa uma população florestal é ocasionado por não

existir uma forte relação entre a altura total e o diâmetro das árvores, em florestas nativas (ARAÚJO et al., 2012; CURTO et al., 2014). Segundo Araújo et al. (2012), uma vez que o comportamento da distribuição diamétrica de florestas naturais apresenta-se em J invertido, ou seja, há uma grande concentração de indivíduos nas classes inferiores de diâmetro e grande variabilidade de alturas, o que contribui para um fraco ajuste da relação h/d.

Valores de  $Syx\%$  que variaram de 21,23% a 21,88% foram encontrados por Trautenmüller et al. (2014), para dois fragmentos de Floresta Estacional Decidual, localizados nos municípios de Frederico Westphalen e Iraí. Valores semelhantes foram encontrados por Curto et al. (2014), em uma Floresta Estacional Semidecidual na cidade de Guaçuí – ES.

Os  $Syx\%$  encontrados para o presente ecótono, variaram de 12,51% a 33,73%, assemelhando-se aos resultados encontrados por Curto et al. (2014) e Trautenmüller et al. (2014), no entanto os resultados encontrados pelos autores foram para um único tipo florestal.

Visto a grande variação de altura encontradas nas florestas inequidâneas e o fato destas englobarem diferentes espécies com idades e características distintas, a relação hipsométrica que é representativa do povoamento apresenta coeficiente de determinação baixos e erro padrão alto, já que há uma grande variação de altura numa mesma classe diamétrica (MACHADO et al., 1994; CURTO et al., 2014; TRAUTENMÜLLER et al., 2014).

De modo geral, quando considerados todos os parâmetros estatísticos de determinação da relação hipsométrica que melhor representa a floresta, o modelo 4 se destacou principalmente pelo seu alto valor de  $R^2aj$ , o qual apresentou um valor de 0,9622. Contudo, a equação também apresenta um erro padrão da estimativa em percentagem ( $Syx\%$ ) de 33,73%, distanciando-se dos erros encontrados para floresta nativa, de acordo com os valores encontrados por Trautenmüller et al. (2014) de 21,86% e por Curto et al. (2014) de 21,88%.

No entanto, o modelo 1 apresentou valores idênticos aos encontrados por Andrade et al. (2006), Curto et al. (2014) e por Trautenmüller et al. (2014), para o coeficiente de determinação ajustado. Além disso, a equação apresentou um  $Syx\%$ , ligeiramente maior que os encontrados pelos mesmos autores, sendo justificado pela presença de duas fitofisionomias encontradas no ecótono.

Na figura 1, observa-se a distribuição de resíduos dos dois modelos. Percebe-se que o modelo 4 apresenta os erros positivos maiores que o modelo 1, ou seja, o mesmo está subestimando a altura. Já o modelo 1, apresenta uma distribuição dos dados concisa, onde os resíduos encontram-se próximos a zero, isto é perceptível pela grande quantidade de observações que estão localizadas próximas ao eixo x.

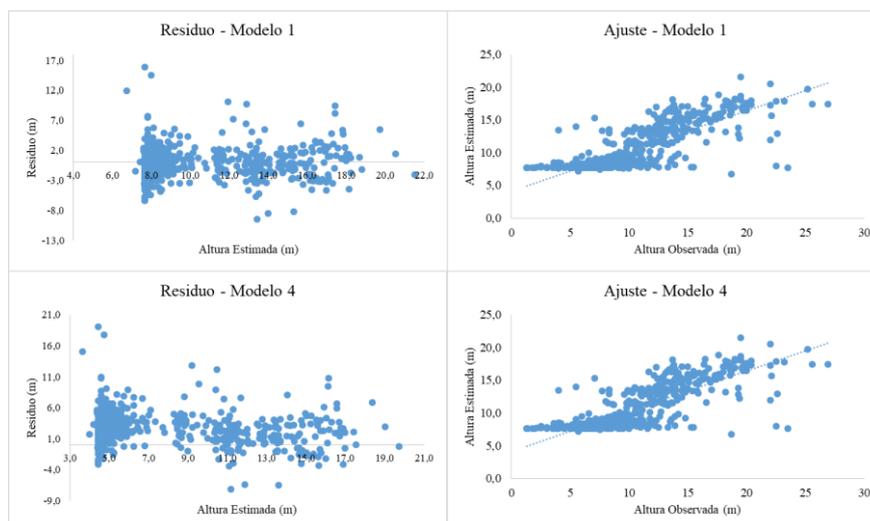


Figura 1: Distribuição dos resíduos e ajuste das alturas, em metros, em função das alturas estimadas em metros, para um fragmento ecótono entre FOM e FES no município de Dois Vizinhos - PR.

Curto et al. (2014), encontrou em seus gráficos de dispersão de resíduos, semelhança entre os modelos, que tendiam a uma superestimava das alturas totais dos indivíduos nas classes inferiores a 10 m de altura. Deste modo, o autor justificou a grande discrepância encontrada nos gráficos, entre as estimativas e os valores observados de altura total, nas classes iniciais de altura, tendo relação com a diversidade de espécies encontradas em estágios sucessionais distintos e padrões de crescimento diferentes.

Resultados semelhantes foram encontrados por Trautenmüller et al. (2014), que verificou uma tendência semelhante da distribuição dos resíduos referentes a relações hipsométricas testadas pelo autor. O autor destaca a tendência de superestimativa nas classes de altura inferiores a 15m, além de subestimar as alturas nas classes superiores.

Quando observado a dispersão dos dados do presente trabalho, o modelo 4 apresenta características semelhantes as encontradas por Curto et al. (2014) e Trautenmüller et al. (2014), superestimando alturas em classes inferiores a 17m. Já o modelo 1 mantém os valores próximos ao real, não apresentando discrepâncias nem superestimativas significativas. Deste modo entende-se que este modelo representou os dados de estimativa da altura com maior proximidade dos dados reais da floresta.

Sendo assim, o modelo considerado adequado para estimar as alturas totais das árvores, considerando um cenário sem estratificação, foi o modelo Heinricksen (modelo 1), representando pela equação  $h=0,3556+4,67261*\ln(d)$ , com resultado de  $Syx\%$  de 24,47 e  $R^2_{aj}$  de 0,6166.

### 5.2.2 Relação hipsométrica por espécie

Os ajustes para as espécies estudadas apresentaram resultados semelhantes aos encontrados para a população como um todo, isto é, os  $R^2aj$  variou de 0,3593 a 0,987 e  $Syx\%$  variou entre 10,69% a 33,53%. Todavia, a relação h/d de duas das três espécies avaliadas tiveram os melhores valores de  $R^2aj\%$  e  $Syx\%$ , além de o gráficos de dispersão satisfatórios.

Entre as relações hipsométricas das três espécies, os resultados mais satisfatórios foram encontrados para a *P. rigida*, sendo que esta apresentou melhores valores de  $R^2aj$  e de  $Syx\%$ , além de um gráfico de dispersão de resíduos representativo e conciso. Como apresentado na tabela 4, os modelos 1, 2, 4 e 8 apresentaram melhores valores para os coeficientes, deste modo a escolha do modelo que melhor representa cada espécie ficou entre os quatro modelos.

Tabela 4: Coeficientes de determinação e erro padrão da estimativa em percentagem das relações hipsométricas ajustadas por espécie.

Espécies	Estatística	Modelos			
		1	2	4	8
<i>Parapiptadenia rigida</i>	$R^2aj$	0,4128	0,4177	0,987	0,3954
	$Syx\%$	26,67	10,62	22,2	30,94
<i>Matayba elaeagnoides</i>	$R^2aj$	0,6334	0,4824	0,946	0,5399
	$Syx\%$	21,33	12,91	33,53	27,37
<i>Nectandra lanceolata</i>	$R^2aj$	0,5747	0,5664	0,8549	0,5432
	$Syx\%$	21,24	11,62	24,59	24,18

Para a *P. rigida* os modelos 1 e 8 apresentaram valores de  $Syx\%$  muito altos em relação aos modelos 2 e 4, já para *M. elaeagnoides* e *N. lanceolata* os modelos 4 e 8 foram os que apresentaram maior  $Syx\%$ . Quando observado o  $R^2aj\%$  para *P. rigida*, *M. elaeagnoides*, *N. lanceolata*, os maiores valores foram de 98,7%, 63,34% e 85,49% respectivamente. Deste modo, os modelos que melhor representaram as espécies foram: *P. rigida* e *N. lanceolata*, modelo 4; *M. elaeagnoides*, modelo 1.

Contudo os gráficos de dispersão (figura 2) confirmaram as escolhas, por apresentarem uma distribuição semelhante entre eles e concisa comparado a dispersão encontrada por Soares et al. (2011), Curto et al. (2014) e Trautenmüller et al. (2014).

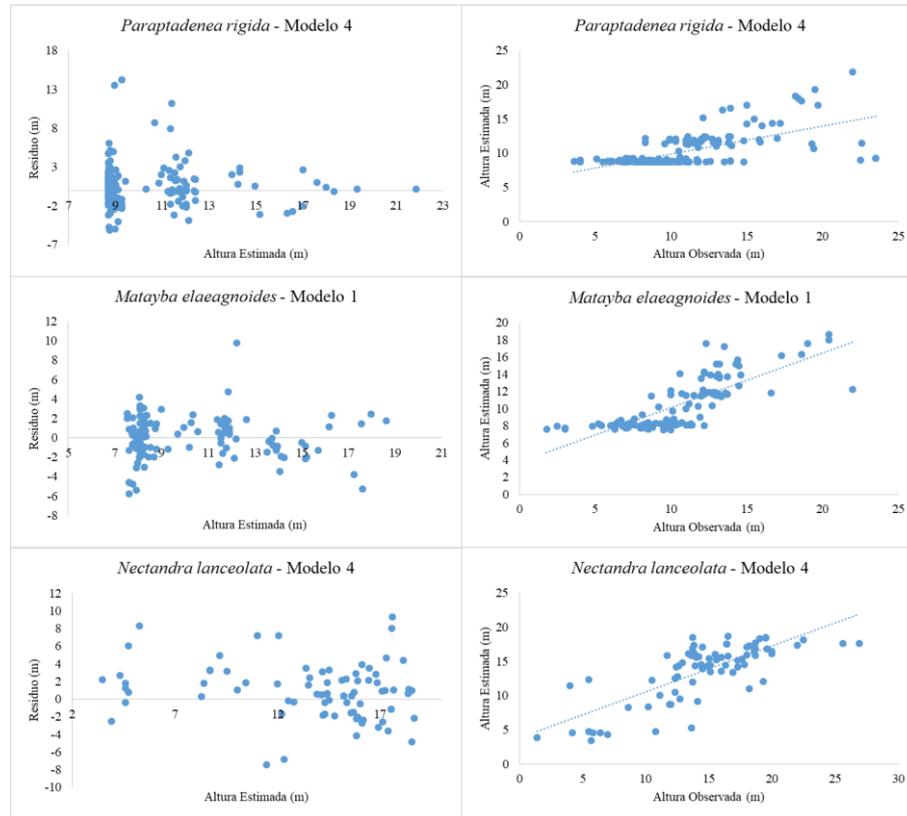


Figura 2: Distribuição dos resíduos e ajuste das alturas, em metros, em função das alturas estimadas em metros, para espécies estudadas.

Sendo assim, o modelo considerado adequado para estimar as alturas totais das espécies *P. rígida*, *M. elaeagnoides*, foi o modelo 4 (Näslund) representado pela equação  $h=d^2/(-3,14142+1,0157d+0,03279d^2)$  e pela equação  $h=d^2/(-1,28045+0,70853d+0,03914d^2)$  respectivamente, e o modelo 1 (Heinricksen) representado pela equação  $h=-3,4118+5,82764\ln(d)$  para *N. lanceolata*.

Tabela 4. Coeficientes de regressão obtidos no ajuste dos modelos para relação hipsométrica para *Parapiptadenia rígida*, *Matayba elaeagnoides*, e *Nectandra lanceolata*, presentes em um fragmento florestal ecótono entre FOM e FES.

Modelo	Espécie	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
4	<i>Parapiptadenia rigida</i>	-3,14142	1,0157	0,03279
1	<i>Matayba elaeagnoides</i>	-0,23988	5,01166	
4	<i>Nectandra lanceolata</i>	1,47816	0,73822	0,03677

### 5.3 Equações de volume

Os coeficientes de regressão e parâmetros estatísticos resultantes do ajuste dos 8 modelos testados para estimar o volume total com casca estão apresentados na tabela 5. Os valores do parâmetro  $R^2_{aj}$  foram de 0,5428 a 0,9875, demonstrando variação dos ajustes das variáveis dependente em função das variáveis independentes.

Tabela 5. Coeficientes de regressão e parâmetros estatísticos obtidos no ajuste dos modelos para volume total com casca em fragmento florestal ecótonal de FOM e FES.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	Syx(%)
1	1,03E-02	5,35E-05	-	-	-	-	0,951	38,79
2	1,03E-02	5,35E-05	-	-	-	-	0,951	38,79
3	-2,00E-01	2,92E-02	-	-	-	-	0,909	52,81
4	-6,63E-03	-2,29E-03	9,16E-04	-	-	-	0,974	28,17
5	-	-3,24E-03	9,41E-04	-	-	-	0,981	27,91
6	1,43E-01	-3,04E-02	1,47E-03	2,64E-03	-5,80E-05	-1,36E-02	0,988	19,58
7	1,10E+05	4,83E-10	3,57E-03	-	-	-	0,687	15,55
8	1,11E+00	4,83E-10	-	-	-	-	0,543	18,78

Correia et al. (2017), descreve que encontrou valores baixos de Syx% para volume total e comercial com casca em um fragmento florestal secundário do litoral, variando de 24,3% a 29,5%. Barros et al. (2002) descreve que, normalmente, o coeficiente de determinação e o erro padrão residual estão correlacionados, o que significa que quando um apresenta valores altos o outro também apresentará.

Esse fenômeno pode ser observado nos parâmetros resultantes do ajuste dos modelos que tiveram  $R^2_{aj}$  de 0,988 com Syx% de 52,81%. No entanto 3 modelos apresentaram erros padrão residuais baixo variando de 15,55% a 19,58%, e o modelo 6 destacou-se pelo valor alto de  $R^2_{aj}$  de 0,988.

Os gráficos de dispersão dos modelos testados foram semelhantes, isso pode estar relacionado a variedade de espécies que compuseram os dados utilizados para ajustar os modelos. No entanto, a distribuição gráfica dos resíduos e de ajuste dos volumes observada no modelo 6, apresentaram-se melhores do que o modelo 8, como pode ser observado na figura 3.

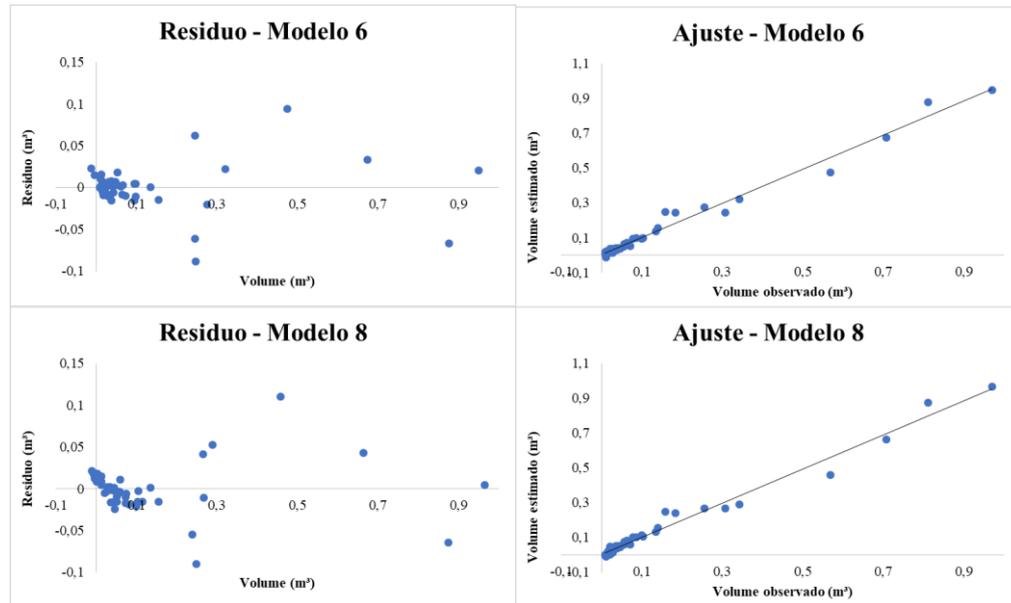


Figura 3: Distribuição dos resíduos e ajuste de volume total com casca do modelo 6 e 8 para um fragmento florestal ecótono entre FOM e FES em Dois Vizinhos - PR.

Deste modo, o modelo considerado adequado para estimar os volumes totais com casca das árvores, foi o modelo de Meyer (modelo 6), representando pela equação  $v=0,14334-0,03043d+0,00147d^2+0,00264dh-0,00005799d^2h-0,01362h$ , o qual apresentou  $R^2aj\%$  de 98,8% e  $Syx\%$  de 19,58%. Os valores de  $R^2aj$  testados para os 8 modelos considerando o volume comercial com casca de cada indivíduo no povoamento, variou pouco e apresentou-se entre 0,94 a 0,98, contudo os valores de erro padrão da estimativa em percentagem também foram altos, como pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6. Coeficientes de regressão e parâmetros estatístico obtidos no ajuste dos modelos para volume com casca comercial em fragmento florestal ecótono entre FOM e FES.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2aj$	$Syx\%$
1	0,01836	0,00005503					0,944	40,44
2	0,01836	0,00005503					0,944	40,44
3	-0,19148	0,03046					0,9296	45,33
4	-0,04471	0,00558	0,00073208				0,969	30,1
5	-0,00102	0,00090693					0,9759	31,17
6	0,14313	-0,02396	0,0012	0,00304	-0,00005867	-0,01953	0,982	22,95
7	-0,05891	0,00066619	0,00001091	0,00629			0,9767	26,1
8	0,00149	0,00053337	-0,00000413	0,00102	-0,00696		0,9795	24,45

Os modelos 6 e 8 apresentaram  $R^2_{aj}\%$  iguais e  $S_{yx}\%$  de 22,95% e 24,45% respectivamente, variando pouco. Nunes (2013) em um fragmento florestal no Cerrado Tropical e Correia et al. (2017), encontram bons resultados de  $R^2_{aj}$  e  $S_{yx}\%$  sendo estes semelhantes aos do presente trabalho.

Contudo essa variação associada a diferentes espécies, utilizadas como dados base para o ajuste de modelos volumétricos em uma floresta nativa pode causar, além da variação do coeficiente de determinação, o aumento excessivo do erro padrão da estimativa em percentagem e a dispersão gráfica dos dados pode apresenta-se desuniforme e distantes da linha de tendência.

Segundo Melo et al. (2013), a proximidade dos volumes observados com os estimados e a dispersão próxima a linha de tendência sugere um melhor desempenho do modelo escolhido. A dispersão gráfica dos modelos de melhor desempenho nos demais parâmetros não foram satisfatórias e não apresentaram-se como descrito por Melo et al. (2013).

Deste modo, o modelo considerado adequado para estimar os volumes comerciais com casca das árvores, também foi o modelo de Meyer (modelo 6), representando pela equação  $v=0,14313-0,02396d+0,00120d^2+0,00304dh-0,00005867d^2h-0,01953h$ , o qual apresentou  $R^2_{aj}\%$  de 98,0% e  $S_{yx}\%$  de 22,95%.

Quando observado os parâmetros estatísticos e a dispersão gráfica obtidos com o ajuste dos modelos para volume total e volume comercial, ambos com casa, percebeu-se que os valores de  $R^2_{aj}$  foram melhores para o volume comercial e os valores de  $S_{yx}\%$  foram melhores para o volume total. Contudo, nos dois casos a escolha do modelo baseou-se nas equações que apresentaram menores erros padrão da estimativa e maiores valores de coeficiente de determinação ajustado, sendo que as dispersões gráficas apresentaram resultados muito semelhantes entre os dois modelos (Figura 4).

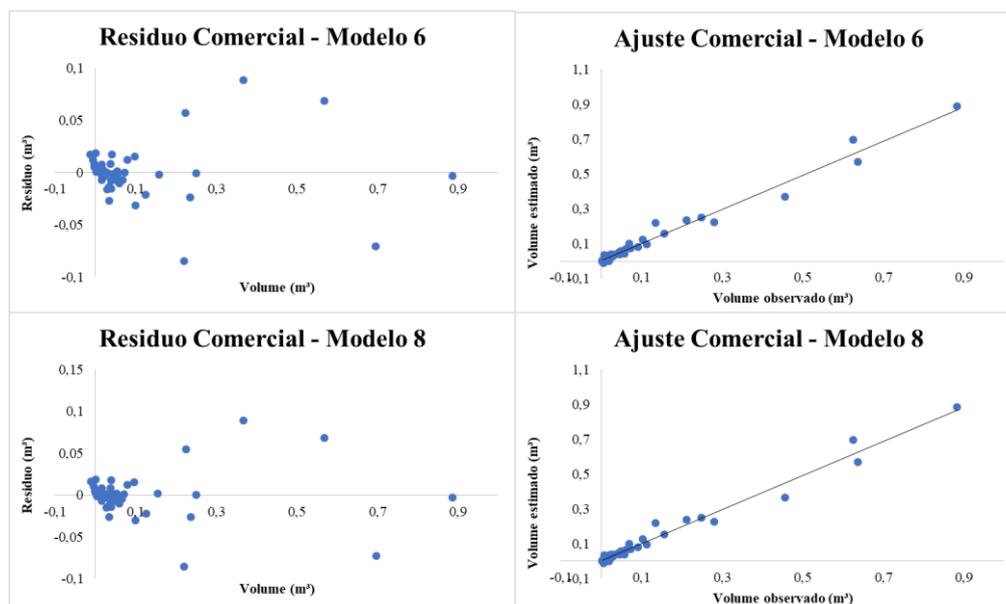


Figura 4: Distribuição dos resíduos e ajuste de volume comercial com casca do modelo 6 e 8 para um fragmento florestal ecótono entre FOM e FES em Dois Vizinhos - PR.

Ambas as equações escolhidas apresentam dupla entrada de dados, que segundo Thiersch et al. (2006), fornece maior precisão nas estimativas, por utilizar as variáveis altura e diâmetro como variáveis independentes. Os mesmos autores ressaltam que a utilização de equações de simples entrada podem ser utilizadas em povoamentos com forte correlação entre altura e diâmetro, o que não ocorre em florestas inequianêas.

Tonini e Borges (2015) modelando o volume com o emprego de modelos de dupla e simples entrada em árvores de uma Floresta Ombrófila Densa no Sul de Roraima, identificaram a superioridade dos dados ajustado pelos modelos de dupla entrada quando utilizado a altura comercial como variável independente. Já Thaines et al. (2010), ajustando equações de volume para populações na região da bacia do rio Ituxi, identificou que equações de dupla entrada apresentavam maior precisão apesar de subestimarem levemente os volumes.

Deste modo autores como Tonini et al. (2005), Thiersch et al. (2006), Vieira et al. (2008) e Santos et al. (2012) indicam modelos de dupla entrada para estimativa de volume de povoamentos florestais nativos, onde a relação entre altura e diâmetro não são fortes. E modelos de simples entrada para floresta equianêas, as quais apresentam forte relação entre altura e diâmetro.

## 6 CONCLUSÃO

Ao ajustar equações hipsométrica para o fragmento florestal ecótono, encontrou-se os melhores ajustes para o modelo de Heinricksen. O mesmo modelo apresentou os melhores ajuste quando testado para a espécies *Matayba elaeagnoides*, enquanto o modelo de Näslund apresentou os melhores ajuste para as espécies *Paraptadenea rígida* e *Nectandra lanceolata*.

No ajuste de modelos volumétricos para o fragmento florestal ecótono, encontrou-se os melhores ajuste para o modelo de Meyer, na estimativa do volume total e comercial com casca. Os valores encontrados para o fator de forma artificial para o volume total foi de 0,8042, enquanto o fator de forma artificial para o volume comercial foi de 0,6862, e o fator de casca foi 0,9414.

Os resultados encontrados no presente trabalho são de grande importância para a comunidade local, pois este pode ser utilizado por produtores rurais que desejam estimar a altura e o volume da sua reserva legal. No entanto, devido ao escasso número de estudos na área de hipsometria e volumetria voltada para espécies nativas, principalmente em zonas ecotonais, indica-se a realização de novos trabalhos abrangendo um maior número de indivíduos e espécies.

## 7 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, V. C. L.; MARTINS, S. V.; CALEGARIO, N.; CHICHORRO, J. F. Influência de três sistemas de amostragem na estimativa da relação hipsométrica e do volume de árvores em um fragmento de Mata Atlântica. **Revista Scientia Forestalis**, n.70, p.31-37, 2006.
- AZEVEDO, T. L.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; SANQUETTA, C. R.; NAKAJIMA, N. Y. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 105-112, 2011
- BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; ACERBI JUNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. *Boletim Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 45, p. 3-28, 2002.
- BARROS, P. L. C.; SILVA, J. N. M. Relação entre volume de árvore em pé e volume de Francon. FCAP. **Informe Técnico**, Belém, v. 28, p. 25-41, 2002.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para Bracatingais na Região Metropolitana de Curitiba-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, nov. 2002.
- BIANCHINI, E.; POPOLO, R. S.; DIAS, M. C.; PIMENTA, J. A. Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, sul do Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 17, n. 3, p. 405-419, 2003.
- BORSOI, G. A. **Subsídios para o manejo de uma Floresta Ombrófila Mista em Estágio avançado de regeneração natural**. 2004, 189f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- BRITEZ, R.M. A floresta com Araucária no Paraná. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 56º, 2005, Curitiba. **Anais 56...** Curitiba: UFPR, 2005.
- CAMPOS, J.B.; SILVEIRA-FILHO. **Floresta Estacional Semidecidual**. Curitiba: SEMA, 2010.
- CARIELO, P. Comparação da utilização de modelo hipsométrico com o censo das alturas obtidas com hipsômetros. **Revista Científica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 7, n. 11, fev. 2008.
- COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Revista Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 1, p. 97-104, 2009.

- CORREIA, J.; FANTINI, A.; PIAZZA, G. Equações volumétricas e fator de forma e de casca para florestas secundárias do litoral de Santa Catarina. **Revista Floresta Ambiente**. Florianópolis, v. 24, abr. 2017.
- CUNHA, U. S. **Dendrometria e Inventário Florestal**: Série Técnica Adaptada Para Atender ao Módulo de Dendrometria e Inventário no Curso Técnico em Manejo Florestal. Escola Agrotécnica Federal de Manaus, 2004.
- CURTO, R. A.; LOUREIRO, G. H.; MÔRA, R.; MIRANDA, R. O. V.; PÉLLICO NETTO, S.; SILVA, G. F. Relações hipsométricas em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista de Ciência Agrárias**. Lavras, v. 57, n. 1, p. 57-56, jan./mar. 2014.
- DURIGAN, G.; BERNACCI, L. C.; FRANCO, G. A. D. C.; ARBOCZ G. F.; METZGER, J. P. & CATHARINO, E. L. M. Estádio sucessional e fatores geográficos como determinantes da similaridade florística entre comunidades florestais no Planalto Atlântico, estado de São Paulo, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 51-62, 2008.
- DUTRA, H. F.; CANTO, J. L.; OLIVEIRA, H. M. A.; HOLANDA, R. F.; SANTANA, J. A. Comparação de métodos de determinação de volume em Cajueiros (*Anacardium occidentale*). In: IV CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL, 4., 2013, Vitória da Conquista. **Anais IV...** Vitória da Conquista: UESB, 2013.
- ESPIRITO-SANTO, M. M.; FAGUNDES, M.; NUNES, Y. R. F.; FERNANDES, G. W.; AZOFEITA, G. A. S.; QUESADA, M. Bases para a conservação e uso sustentável das Florestas Estacionais Deciduais brasileiras: a necessidade de estudos multidisciplinares. **Revista Unimontes Científica**, Montes Claros, v. 8, n. 1, p. 13-14, jan./jun. 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. p. 306.
- FINGER, C. A. G. **Biometria Florestal**. Santa Maria: Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, 2006.
- GERALDINO, H. C. L., CAXAMBÚ, M. G., SOUZA, D. S. Composição florística e estrutura da comunidade de epífitas vasculares em um área de ecótonos em Campo Mourão, PR, Brasil. **Revista Botanica Brasílica**. São Paulo, v. 24, n. 2, p. 469-482, abr./jun. 2010.
- GORENSTEIN, M. R.; BECHARA, F. C.; ESTEVAN, D. A.; SGARBI, A. S.; GALLO, I. C. Estrutura e diversidade da comunidade arbórea na trilha ecológica da UTFPR, Campus Dois Vizinhos através do método de quadrantes. In: Seminário: SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIO – Ciências Agrárias, Animais e Florestais, 4. 2010, Dois Vizinhos. **Anais...** Dois Vizinhos: UTFPR, 2013.

- Haidar, R. F.; Fagg, J. M. F.; Pinto, J. R. R.; Dias, R. R.; Damasco, G.; Silva, L. C. R.; Fagg, C. W. Florestas Estacionais e áreas de ecótono no Estado do Tocantins, Brasil: Parâmetros estruturais, classificação das fitofisionomias florestais e subsídios para conservação. **Revista Acta Amazônica**, Manaus, v. 43, n. 3, p. 261-290, 2013.
- IAPAR. INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Classificação Climática do Paraná**. < <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863> > Acesso em: 15 mai. 2018, 14:30:20.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil**. Brasília: IBGE, 2004.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação**. Brasília: IBGE, 1992.
- JURHOSA, O. A. **Equações de Volume e Fator de Forma para *Khaya ivorensis* A. Chev.** 2016. 39f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2016.
- LOUREIRO, W. A situação atual do sistema de unidades de conservação do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, 4, 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Fundação O Boticário de proteção à Natureza e Rede Pró-unidades de Conservação, 2004, p. 135-148.
- MACHADO, S.A.; BAILEY,R.L.; BASSO, S.F.; BEVILACQUA, V.G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito a idade para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. **Revista Cerne**, Lavras, v.1, n.1, p.5-12, 1994.
- MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, M. B. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regime de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185-197, jul./dez, 2002.
- Nunes MH. Stem profile modeling in Cerrado and tropical forests formations in Brazil [dissertação]. Piracicaba: Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de São Paulo; 2013.
- MELO, L. C.; BARRETOS, P. A. B.; OLIVEIRA, F. G. R.; NOVAES, A. B. Estimativas volumétricas em povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no sudoeste da Bahia. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 379-386, out/dez. 2013.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 1998.
- PINHEIRO, M. H. O.; ARANTES, S. A. C. M.; JIMENEZ-RUEDA, J. R.; MONTEIRO, R. Caracterização edáfica de um ecótono savânico-florestal no Sudeste Brasileiro. **Revista Iheringia Serie Botânica**, Porto Alegre, v. 64, n. 2, p. 15-24, jul./dez. 2009.

- RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACK, G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 75-92, 2002.
- ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M.; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para floresta nacional Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Revista Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 107-114, 2006.
- SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. **Inventário florestais: planejamento e execução**. Curitiba: Multi-Graphic e Editora, 2014.
- SANTOS, A. T.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, N. C. Equação de volume e relação hipsométricas para plantio de *Ocotea porosa*. **Revista Pesquisa Florestal**. Colombo, v. 32, n. 69, p. 13-21, jan/mar. 2012.
- SANTOS, K.; SANQUETTA, C. R.; EISFIELD, R. L.; WATZLAWICK, L. F.; ZILLOTTO, A.B. Equações volumétricas por classe diamétrica para algumas espécies folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. Guarapuava, v. 8, n. 1, p. 109-112, jan./jun. 2006.
- SAUERESSIG, D. **Levantamento dendrológico na Floresta Ombrófila Mista e Implementação de um sistema de identificação**. 2012. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- SCIPIONI, M. C.; FINGER, C. A. G.; CANTARELLI, E. B.; DENARDI, L.; MEYER, E. A. Fitossociologia em fragmento florestal no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 409-419, 2011.
- SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal 1: tópicos para o planejamento de produção florestal**. Santa Maria: Departamento Florestal da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1986.
- SCHUCH C., SIMINSKI A., FANTINI A.C. Usos e potencial madeireiro do jacatirão-açu (*Miconia cinnamomifolia* (de candolle) naudin) no litoral de Santa Catarina. **Floresta**. v. 4, p. 735-741, 2008.
- SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; LIMA, C.S. Obtenção de relação quantitativas para estimativa de volume de Fuste em Floresta Estacional Semidecídua Montana. **Revista Cerne**. Lavras, v. 1, n. 1, p. 123-134, 1994.
- SENA, A. L. M.; SILVA NETO, A. J.; OLIVEIRA, G. M. V.; CALEGARIO, N. Modelo linear e não linear com uso de covariantes para relação hipsométrica de duas espécies de *Pinus* tropicais. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 969-980, out./dez. 2015.

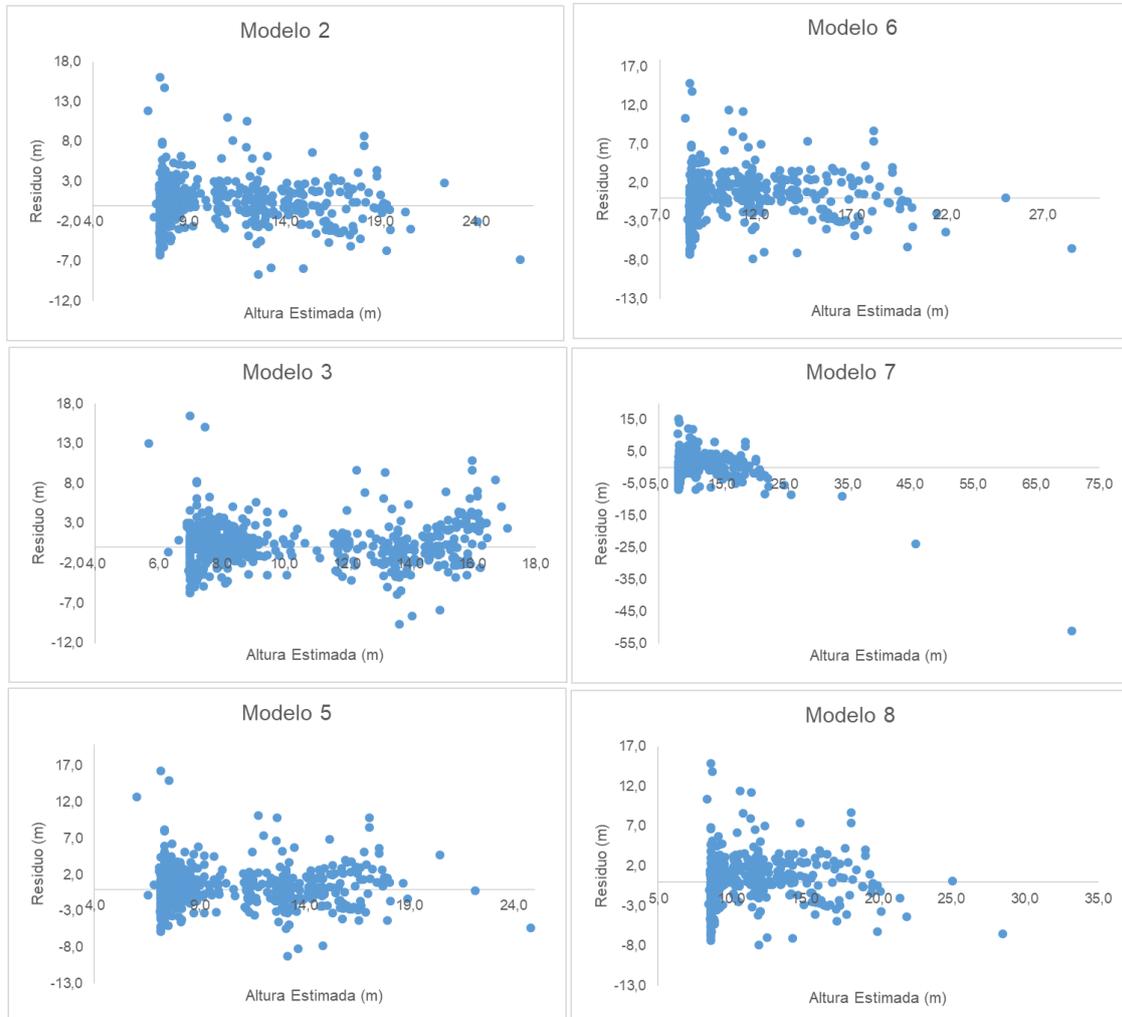
- SOARES C.P.B, PAULA NETO, F.O, SOUZA A.L. **Dendrometria e inventário florestal**, Viçosa: Editora UFV, 2011.
- SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e inventário florestal**, Viçosa: Editora UFV, 2012.
- SOUZA, D. R. et al. Levantamento Florístico e chave de identificação através de caracteres vegetativos das espécies da mata remanescente do Campus da UTFPR de Dois Vizinhos, PR. In: I SEMINÁRIO DE EXTENSÃO E INOVAÇÃO DA UTFPR - SEI, 1., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba; 2011.
- SOUZA, H. S.; DRESCHER, R.; VENDRUSCOLO, D. G. S.; MOURA, J. P. V. M.; SIQUEIRA, T. A. S.; MAMORÉ, F. M. D. Comparação de métodos de cubagem para *Eucalipto*. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 17-26, 2017.
- SMITH, T. B. A role for ecotones in generating rainforest biodiversity. **Science**, Washington, v.276, n. 5320, p.1855-1857, jun. 1997.
- SPATHELF, P.; BERGER, R.; VACCARO, S.; TONINI, H.; BORSOI, G.A. Crescimento de espécies nativas de uma floresta estacional decidual/ombrófila mista do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 103-119, 2001.
- THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa do volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n.64, p. 283-289. 2010
- THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; DEHON, G. Acurácia dos Métodos para Estimativa do Volume Comercial de Clones de *Eucalyptus* sp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 167-181, 2006.
- TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no Estado de Roraima - Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), Ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 3, p. 353-362, 2005.
- TONINI, H.; BORGES, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no Sul de Roraima. **Revista Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 92, p. 111-117, abr./jun. 2015.
- TRAUTERNMÜLLER, J. W.; BALBINOT, R.; GONZATTO, G. L.; WATZLAWICK, L. F.; VENDRUSCOLO, R. Relação hipsométrica em Floresta Estacional Decidual. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 16-33, 2014.

VIEIRA, A. H.; ROCHA, R. B.; BENTES-GAMA, M. M.; LOCATELLI, M. **Desempenho de teca (*Tectona grandis*) em plantio adensado no Estado de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2008. 14 p.

WEBER, K. S.; SANQUETTA, C. R.; EISFELS, R. L. Variação volumétrica e distribuição espacial do estoque de carbono em floresta Ombrófila Mista. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 77-85, 2005.

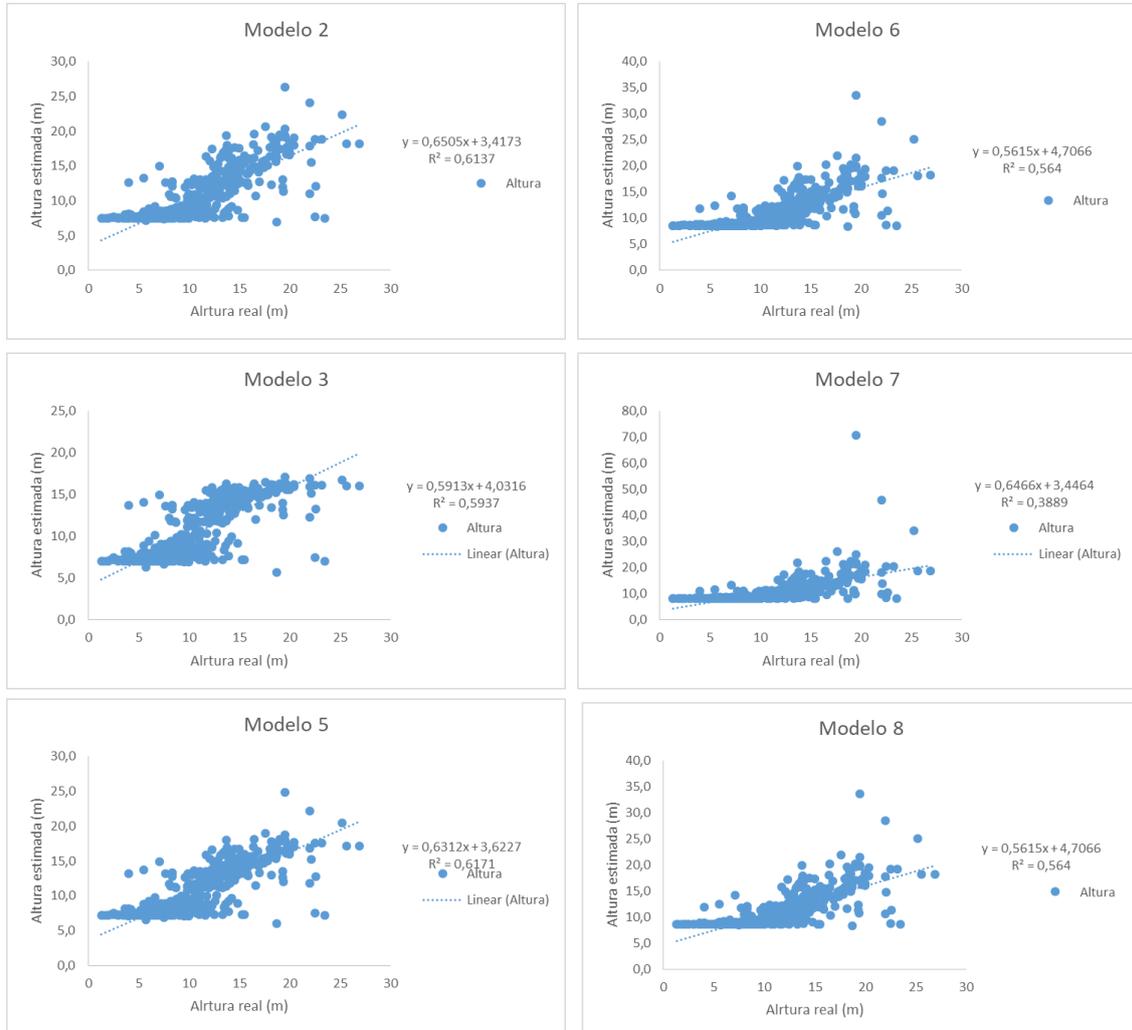
**ANEXO I**

Gráficos de resíduos dos modelos hipsométricos testados para povoamento presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



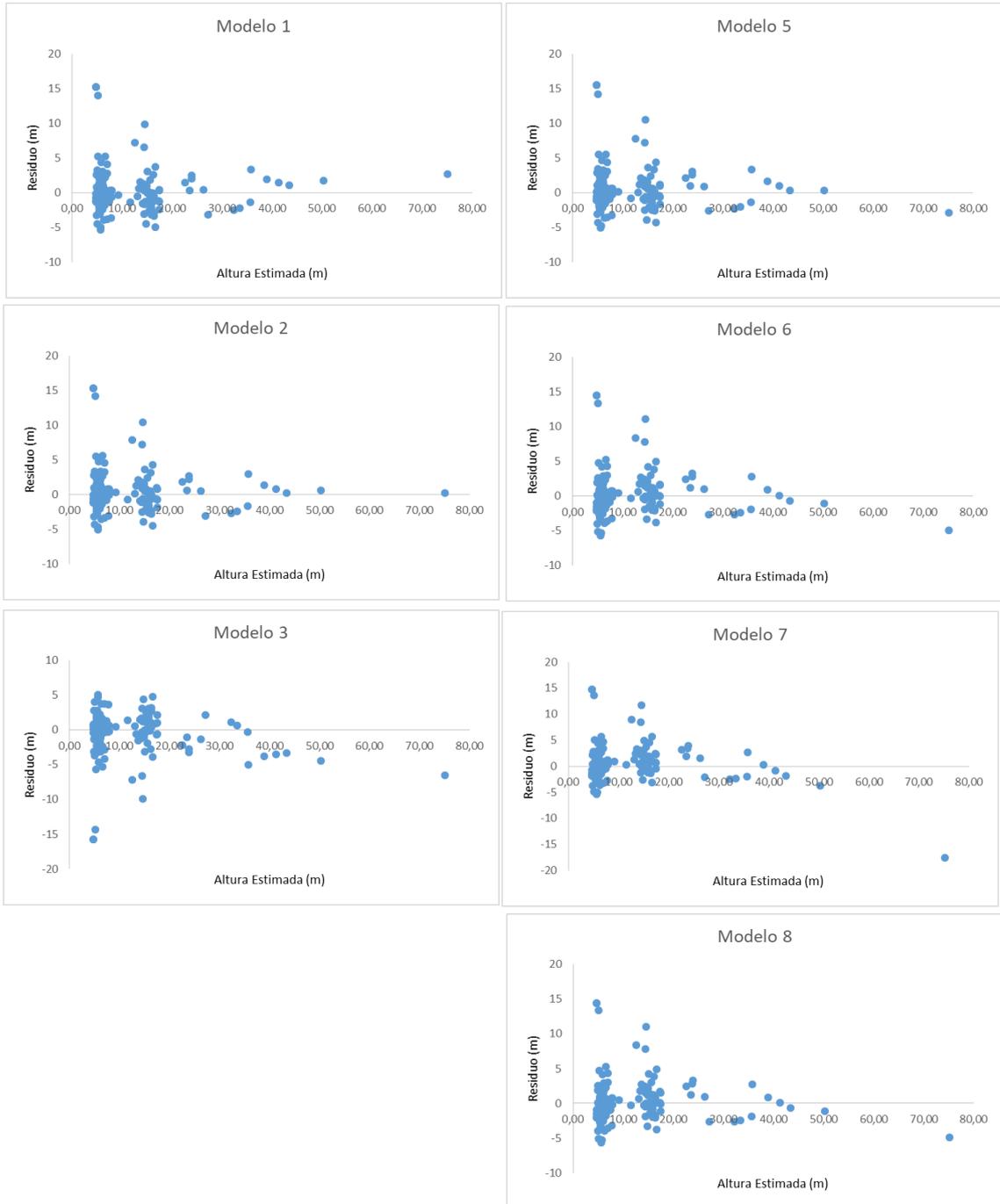
## ANEXO II

Gráficos de ajuste dos modelos hipsométricos testados para povoamento presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



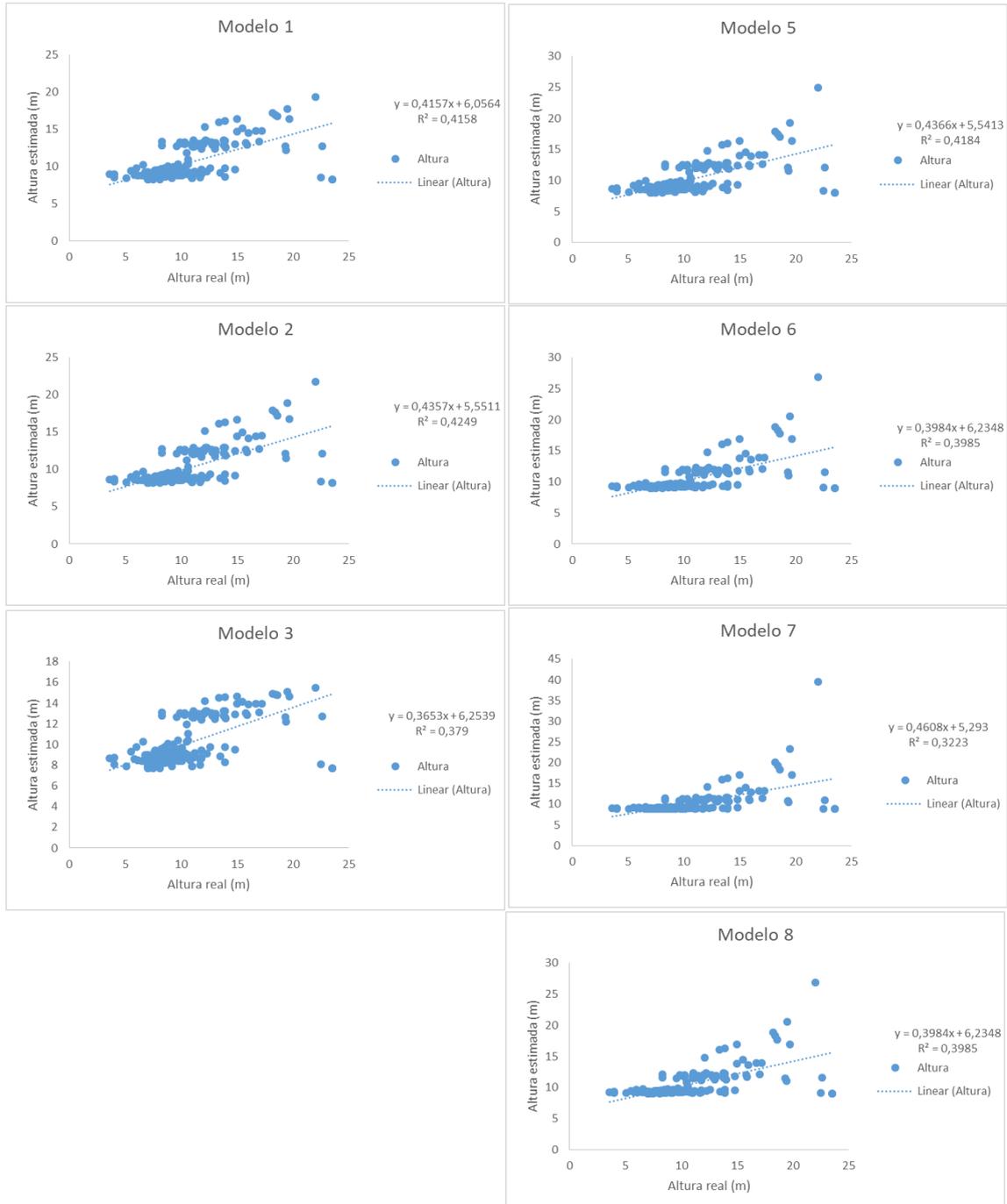
## ANEXO III

Gráficos de resíduos dos modelos hipsométricos testados para a espécie *Paraptadenea rígida* presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



## ANEXO IV

Gráficos de ajuste dos modelos hipsométricos testados para a espécie *Paraptadenea rígida* presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



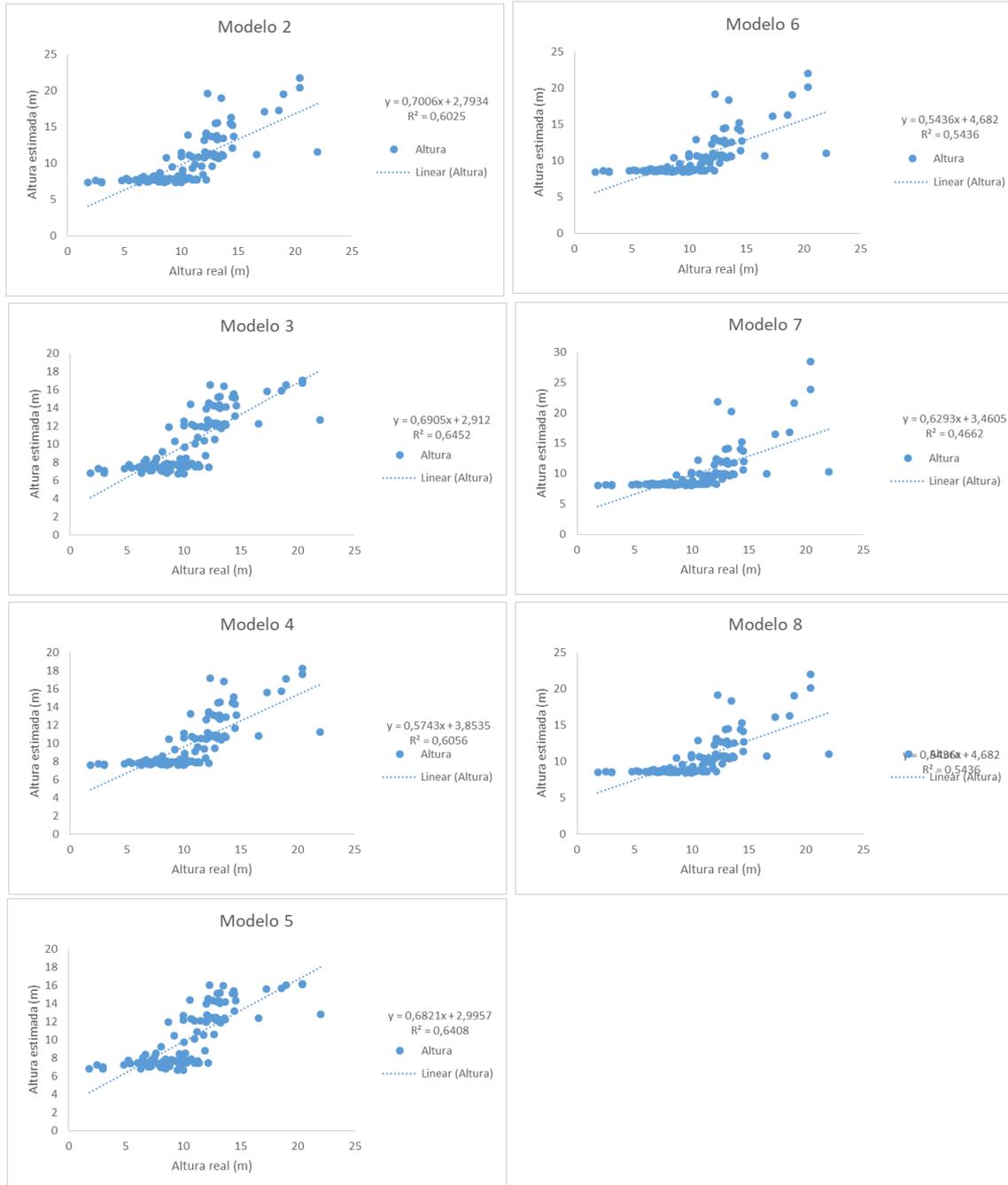
## ANEXO V

Gráficos de resíduos dos modelos hipsométricos testados para a espécie *Matayba elaeagnoides* presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



## ANEXO VI

Gráficos de ajuste dos modelos hipsométricos testados para a espécie *Matayba elaeagnoides* presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



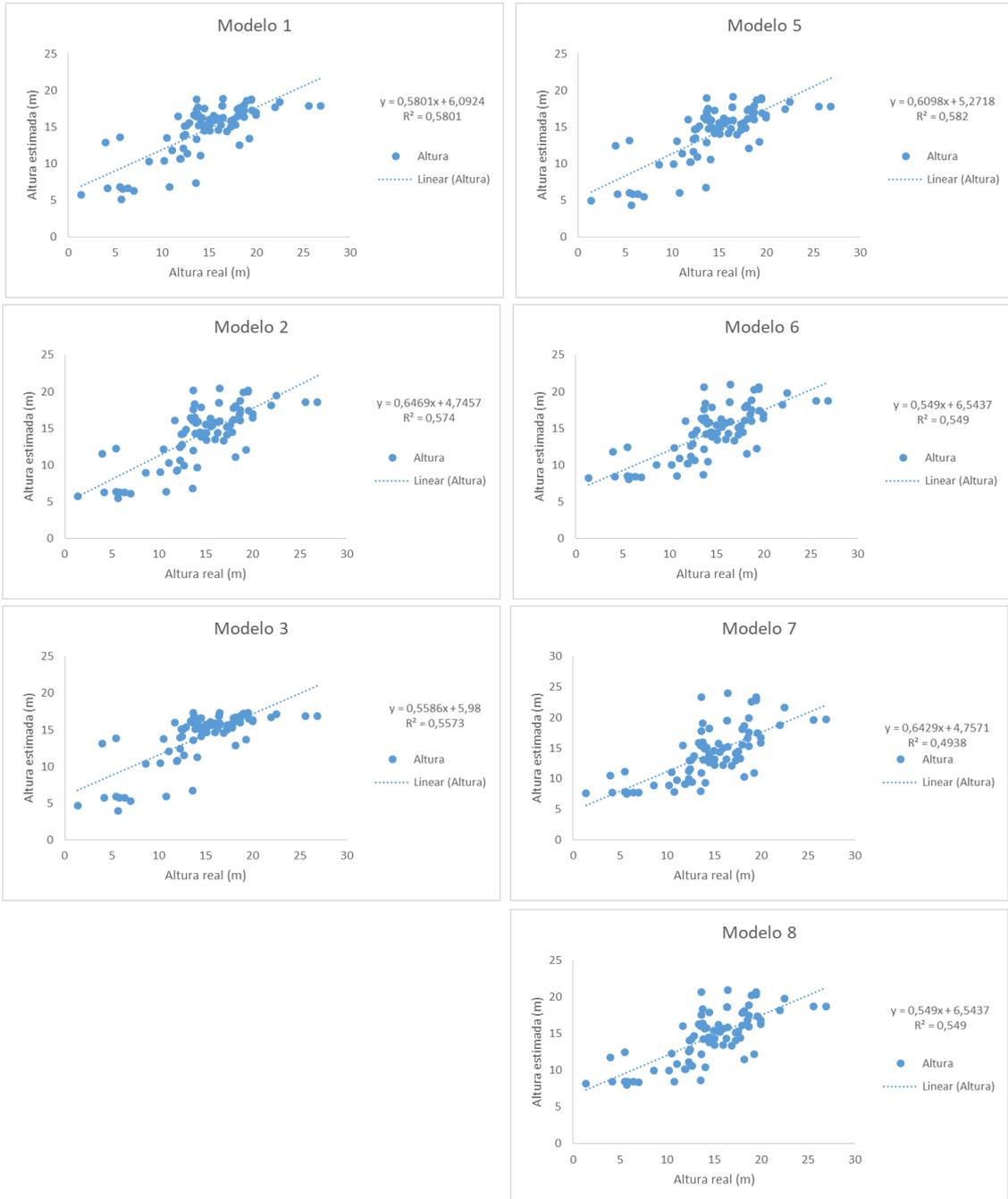
## ANEXO VII

Gráficos de resíduos dos modelos hipsométricos testados para a espécie *Nectandra lanceolata* presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



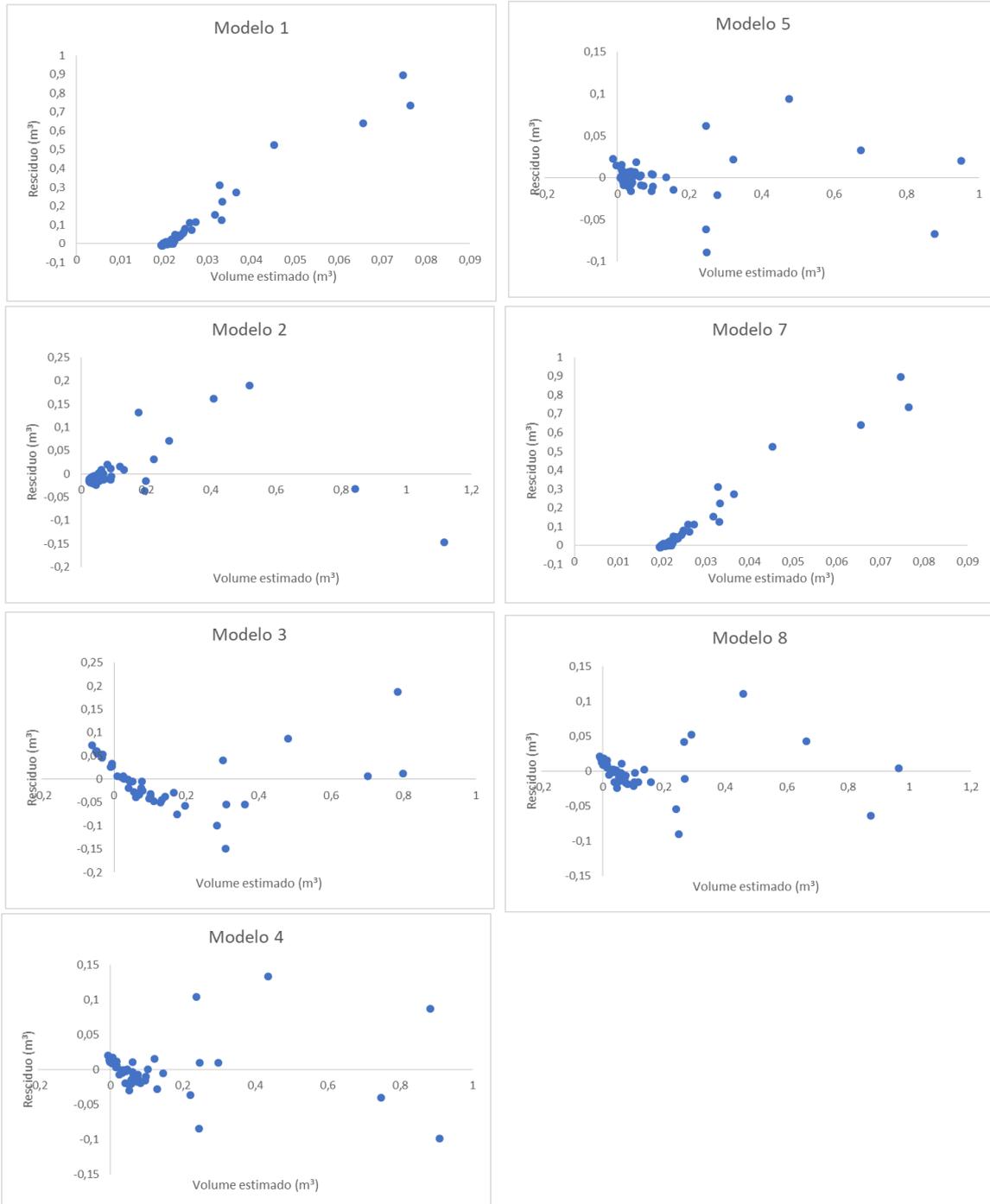
## ANEXO VIII

Gráficos de ajustes dos modelos hipsométricos testados para a espécie *Nectandra lanceolata* presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



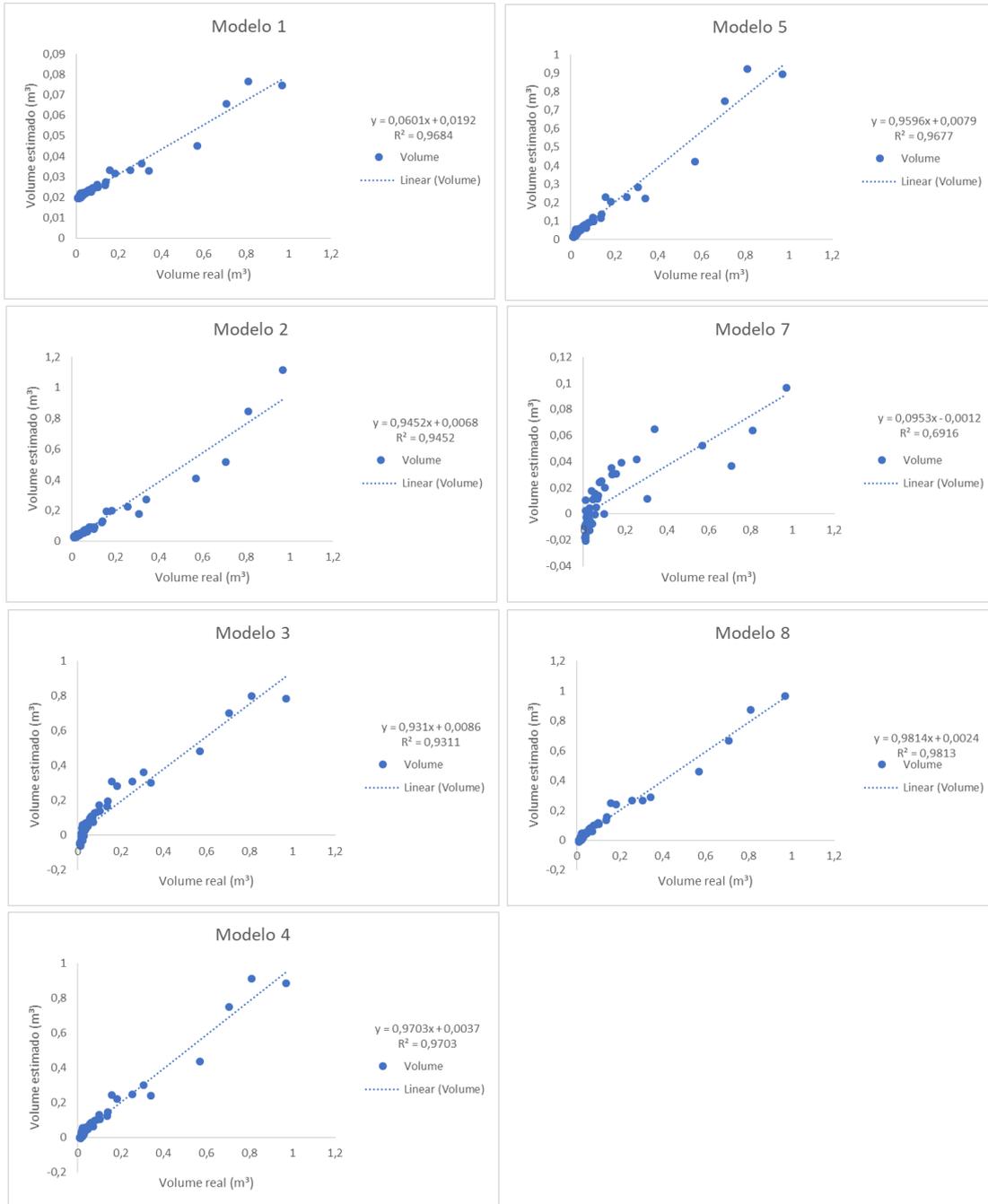
## ANEXO VX

Gráficos de resíduo dos modelos volumétricos com casa para volume total testados para o povoamento presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



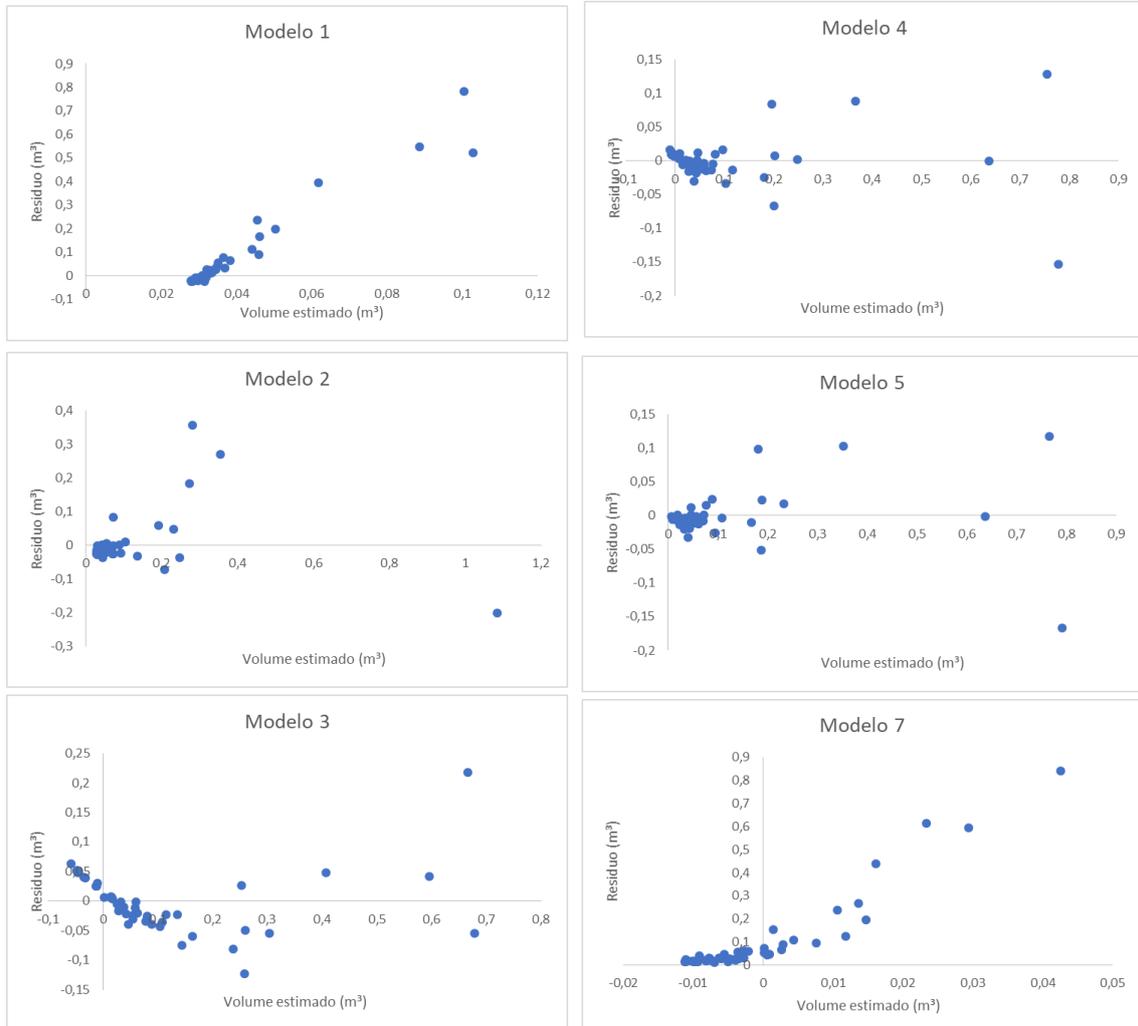
## ANEXO X

Gráficos de ajuste dos modelos volumétricos com casa para volume total testados para o povoamento presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



**ANEXO XI**

Gráficos de resíduo dos modelos volumétricos com casa para volume comercial testados para o povoamento presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.



## ANEXO XII

Gráficos de ajuste dos modelos volumétricos com casa para volume comercial testados para o povoamento presente no fragmento florestal ecótonal no município de Dois Vizinhos – PR.

