



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

THAÍS SCHMITT

**RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA DE EUCALIPTO CLONAL NO SUL DO
TOCANTINS.**

**GURUPI - TO
SETEMBRO - 2017**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

THAÍS SCHMITT

RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA DE EUCALIPTO CLONAL NO SUL DO TOCANTINS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências florestais e ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Valdir Carlos Lima de Andrade

**GURUPI - TO
SETEMBRO – 2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S355r Schmitt, Thais.
RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA DE EUCALIPTO CLONAL NO SUL
DO TOCANTINS. / Thais Schmitt. – Gurupi, TO, 2017.
60 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do
Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-
Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2017.

Orientador: Valdir Carlos Lima de Andrade

1. Relação hipsométrica. 2. Formas de ajuste de modelos. 3.
Teste de identidade de modelos. 4. Validação cruzada. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que
citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS
Rua Badejós, Chácaras 69 e 72 - CEP: 77402-970 - Caixa Postal 66 | Gurupi/TO
(63) 3311-1616 | www.uft.edu.br/cfa | pgcfa@uft.edu.br



Defesa nº 051/2017

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE THAÍS SCHMITT, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

Aos 14 dias do mês de setembro do ano de 2017, às 14 horas, na sala 09, do edifício Anfiteatro, no Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins – UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. VALDIR CARLOS LIMA DE ANDRADE da Universidade Federal do Tocantins, Profª Drª LIVIA CÁSSIA VIANA da Universidade Federal do Tocantins e Profª Drª PRISCILA BEZERRA DE SOUZA da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de THAÍS SCHMITT, intitulada "**Relação hipsométrica de eucalipto clonal no sul do Tocantins**". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-a ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dr. Valdir Carlos Lima de Andrade
Universidade Federal do Tocantins
Orientador e presidente da banca examinadora

Drª. Lívia Cássia Viana
Universidade Federal do Tocantins
Primeira examinadora

Drª. Priscila Bezerra de Souza
Universidade Federal do Tocantins
Segunda examinadora

Gurupi, 14 de setembro de 2017.

Marcos Giongo
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTO

Aos meus pais Leopoldo Schmitt e Melina Malikowski Schmitt, pelo total apoio e incentivo.

Ao orientador Dr. Valdir Carlos Lima de Andrade, meu reconhecimento e gratidão pela dedicação ao me orientar.

À Universidade Federal do Tocantins, ao curso de Engenharia Florestal, e em especial ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

RESUMO

Este trabalho foi estruturado em dois capítulos, utilizando 11 parcelas retangulares e permanentes de 348 m² cada, de um plantio clonal de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla* na região Sul do Estado do Tocantins. O primeiro capítulo objetivou a melhor forma de ajuste de modelos hipsométricos, analisando a acurácia do melhor modelo, e aplicando-o em uma situação florestal diferente. Os dados foram divididos em um lote de ajuste e outro de aplicação, com três classes de diâmetro e três classes de altura dominante. Inicialmente determinou-se o coeficiente de determinação ajustado em porcentagem (R^2_{aj}), erro-padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$), e análise gráfica residual. Posteriormente realizou-se um teste de identidade de modelos, seguido de um delineamento inteiramente casualizado (DIC) no esquema de parcelas subdivididas, juntamente com o teste de Dunnett. No final da análise, para avaliar a estabilidade dos modelos em um teste de validação, foram utilizados os critérios: coeficiente de determinação da predição (R^2), soma de quadrados do resíduo relativo (SQRR), raiz quadrada do erro médio (RQEM), erro médio percentual (EMP). Concluiu-se que a melhor forma de ajuste foi realizar um ajuste por classe, sendo o modelo regional o mais adequado a se utilizar. O segundo capítulo aborda a avaliação de modelos hipsométricos aplicando a técnica de validação cruzada, e a comparação dos resultados com aqueles obtidos no capítulo 1, visando obter o melhor modelo a ser utilizado na região sob diferentes aspectos de seleção. Inicialmente aplicaram-se os critérios de precisão: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e análise gráfica residual. Em seguida foram aplicados os critérios de estabilidade realizando a validação cruzada entre os dois lotes de dados, que foram estes: erro médio absoluto, raiz do quadrado médio e soma de quadrados do erro médio. Os modelos selecionados foram submetidos a uma nova análise, utilizando-se os lotes de dados do capítulo 1, onde se aplicou os mesmos critérios de precisão e estabilidade utilizados anteriormente, resultando na comparação entre os capítulos. Concluiu-se que o melhor modelo local foi o 14 de Chapman-Richards, o melhor modelo regional foi o parabólico 03, e na comparação com os modelos selecionados no capítulo 01, o mais adequado para o plantio foi o modelo regional parabólico 3, proveniente do capítulo 02.

Palavras-chave: relação altura/diâmetro; formas de ajuste; validação cruzada; teste de identidade.

ABSTRACT

Hypsometric relations of clonal eucalyptus in south of Tocantins. This work was structured in two chapters, using 11 rectangular and permanent plots of 348 m² each, from a clonal plantation of *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus urophylla* in the southern region of the state of Tocantins. The first chapter aimed at the best way of adjusting hypsometric models, analyzing the accuracy of the best model, and applying it in a different forest situation. The data were divided into one set of adjustment and another of application, with three classes of diameter and three classes of dominant height. The coefficient of determination adjusted in percentage (R^2_{aj}), standard error of the estimate in percentage ($Sy_x\%$), and residual graphical analysis were determined initially. A model identity test was then performed, followed by a completely randomized design (DIC) in the subdivided plot scheme, along with the Dunnett test. At the end of the analysis, to evaluate the stability of the models in a validation test, the following criteria were used: prediction determination coefficient (R^2), sum of squares of the residual residue (SQRR), square root mean error (RQEM) mean error (EMP). It was concluded that the best form of adjustment was to perform an adjustment by class, being the regional model the most appropriate to be used. The second chapter deals with the evaluation of hypsometric models applying the cross validation technique, and the comparison of the results with those obtained in chapter 1, aiming to obtain the best model to be used in the region under different aspects of selection. Initially the precision criteria were applied: adjusted coefficient of determination, standard error of the estimate and residual graphical analysis. Then, the stability criteria were applied by performing cross-validation between the two batches of data, which were: absolute mean error, mean square root, and mean square error sum. The selected models were submitted to a new analysis, using the data bundles of chapter 1, where the same criteria of precision and stability previously used were applied, resulting in the comparison between the chapters. It was concluded that the best local model was Chapman-Richards 14, the best regional model was parabolic 03, and in comparison with the models selected in chapter 01, the most suitable for planting was the regional parabolic model 3, of chapter 02.

Keywords: height / diameter ratio; forms of adjustment; cross-validation; identity test.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
CAPÍTULO 1.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1. Coleta de dados e modelos hipsométricos utilizados	15
2.2. Critérios estatísticos	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.1. Dados de ajuste	19
3.2. Dados de aplicação	23
4. CONCLUSÕES	26
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
CAPÍTULO 2.....	31
1. INTRODUÇÃO.....	32
2. MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1. Localização e descrição dos dados	33
2.2. Modelos hipsométricos avaliados	34
2.3. Critérios de avaliação dos modelos	35
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.1. Modelos hipsométricos locais	37
3.2. Modelos hipsométricos regionais	41
3.3. Ajuste dos melhores modelos utilizando os dados do capítulo 1	47
3.4. Teste de validação	48
4. CONCLUSÕES	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Teste de identidade dos modelos para verificar a hipótese de que o modelo reduzido não apresenta diferença em relação ao modelo completo ajustados para cada agrupamento de classes.....	17
Tabela 2: Combinações testadas no teste de Identidade de modelos considerando classe de DAP e HD	17
Tabela 3: Resultados dos coeficientes obtidos da equação local e regional para o conjunto de dados de ajuste	19
Tabela 4: Resultados do teste de identidade de modelos por classe de D e HD.....	20
Tabela 5: Resultados do DIC em parcelas subdivididas para o modelo local e regional por classe HD	21
Tabela 6: Teste de Dunnett indicando a influência dos arranjos de ajuste dos modelos local e regional para as classes de HD dentro de cada.....	22
Tabela 7: Resultados dos critérios de análise obtidos para a equação local e regional para o conjunto de dados do lote de aplicação	24
Tabela 8: Modelos hipsométricos locais avaliados em um plantio de eucalipto E1277 localizado no sul do Tocantins	34
Tabela 9: Modelos hipsométricos regionais avaliados em um plantio de eucalipto E1277 localizado no sul do Tocantins	35
Tabela 10: Resultados estatísticos dos seis melhores modelos hipsométricos locais para um povoamento de eucalipto E1277 localizado no Sul do Tocantins.....	37
Tabela 11: Resultados obtidos na validação cruzada dos seis melhores modelos hipsométricos locais 1, 4, 7, 9, 13 e 14 para E1277	40
Tabela 12: Resultados estatísticos dos oito melhores modelos hipsométricos regionais para um povoamento de eucalipto E1277 localizado no Sul do Tocantins.....	42
Tabela 13: Valores dos critérios de desempenho dos modelos hipsométricos regionais 1, 2, 3, 5, 6, 10, 13 e 14 para E1277 no sul do Tocantins.....	45
Tabela 14: Estatísticas dos melhores modelos do capítulo 2 utilizando o lote de dados de ajuste do capítulo 1	47
Tabela 15: Resultados dos critérios de acurácia obtidos das equações local e regional do capítulo 02 e capítulo 01 para o conjunto de dados do lote de aplicação.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo na Região Sul do Estado do Tocantins. (Fonte: mapsofworld, adaptado).	15
Figura 2: Dispersão dos resíduos do erro (m) em função da altura estimada (m) para os modelos local e regional do conjunto de dados de ajuste.	20
Figura 3: Dispersão gráfica residual do erro(m) em função da altura estimada(m) para os modelos reduzidos local e regional e dos modelos local e regional por classe de HD para os dados de aplicação.	25
Figura 4: Localização da área de estudo no Estado do Tocantins. (Fonte: mapsofworld, adaptado).	33
Figura 5: Análise da distribuição de resíduos dos seis modelos locais selecionados para os lotes 1 e 2.	39
Figura 6: Análise da distribuição de resíduos dos melhores modelos locais selecionados para os lotes 1 e 2 aplicando-se a técnica de validação cruzada.....	41
Figura 7: Análise da distribuição de resíduos dos melhores modelos regionais selecionados para os lotes 1 e 2.	44
Figura 8: Análise da distribuição de resíduos dos três melhores modelos regionais aplicando-se a técnica de validação cruzada.	46
Figura 9: Análise da distribuição de resíduos dos modelos local e regional do capítulo 02.	48
Figura 10: Análise da distribuição de resíduos dos melhores modelos do capítulo 2 aplicando-se a técnica de validação cruzada.	49

INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, o gênero *Eucalyptus* se tornou uma das principais fontes de matéria prima para a indústria madeireira. Isso ocorre devido à adaptação ao clima tropical e aos avanços conquistados pelo melhoramento genético que resultou na disponibilidade de clones mais resistentes a pragas e doenças, além de um bom desenvolvimento em diferentes regiões do Brasil. No Estado do Tocantins, por predominar o clima seco com estação chuvosa, os produtores madeireiros preferem espécies com características adaptáveis a esse tipo de clima, dentre as quais, se inclui o *Eucalyptus camaldulensis* e híbridos dessa espécie com o *Eucalyptus urophylla*.

O *Eucalyptus camaldulensis* é uma das espécies mais adequadas para regiões caracterizadas por solos pobres, de prolongada estação seca e sujeitas a inundações periódicas. Tem alto índice de brotação, mas, suas árvores se constituem de fustes mais tortuosos que de outras espécies, como o *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. Por esse motivo, apesar de ter madeira densa, com cerne bem diferenciado e mais colorido, não pode ser indicado para uso em serraria, sendo mais indicado para a produção de dormentes e carvão vegetal (FERREIRA, 1979; MORA E GARCIA, 2000).

Por outro lado, o *Eucalyptus urophylla*, apesar de ter boa adaptação ao clima tropical, necessita de mais chuva que o *Eucalyptus camaldulensis* com cerca de 1.000 a 1.500 mm/ano. Tal espécie tem madeira com densidade média a alta, sendo apta a produção de carvão vegetal, painéis, celulose e também para a construção civil. Por isso, há muitos plantios com clones híbridos de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla* no Brasil, unindo as características de ambas as espécies citadas anteriormente (FERREIRA, 1979; BLAKE, 1977; MORA E GARCIA, 2000; TRUGILHO et al., 2001).

Diante do grande interesse madeireiro das espécies *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla*, é imprescindível o aprimoramento de técnicas de inventários florestais em seus plantios, englobando estudos relacionados à modelagem da relação hipsométrica, pois permitem balizar a indústria quanto à quantidade ideal de madeira a ser consumida, resultando em sua sustentabilidade (LIMA et al., 1996; SCOLFORO, 1997; SCOLFORO, 1998; AZEVEDO et al., 1999).

Estudos envolvendo a relação hipsométrica em plantios clonais também são de extrema importância para produtores madeireiros que visam reduzir custos e tempo para a realização de um inventário. Como a variável altura é medida de forma indireta no povoamento, com a utilização de instrumentos, os resultados fornecidos são precisos, porém, nada econômicos, devido ao tempo que se perde na coleta de dados. Por isso, esta variável é medida em apenas algumas árvores, e estimada para as demais através do estabelecimento da relação de regressão da altura em função do diâmetro (PEREIRA et al., 2011).

Neste contexto, o enfoque desse estudo foi avaliar modelos hipsométricos, e a forma de agrupamento dos dados visando o seu ajuste para um plantio clonal do híbrido entre *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus spp.*

CAPÍTULO 1

IDENTIDADE DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA EUCALIPTO CLONAL NO TOCANTINS

Resumo: Este capítulo teve como objetivo definir a melhor forma de ajuste de modelos hipsométricos para eucalipto clonal na região Sul do Estado do Tocantins, e em seguida analisar a acurácia do modelo escolhido, aplicando-o em uma situação florestal diferente. Os dados foram divididos em dois lotes: um de ajuste, com cinco árvores de cada parcela, onde se estipulou três classes de diâmetro (cd) e três classes de altura dominante (chd); e o segundo, de aplicação, com três árvores de cada parcela. Inicialmente, determinou-se o coeficiente de determinação ajustado em porcentagem (R^2_{aj}), erro-padrão da estimativa em porcentagem ($Sy_x\%$), e análise gráfica residual. Posteriormente realizou-se um teste de identidade de modelos, seguido de um delineamento inteiramente casualizado (DIC) no esquema de parcelas subdivididas, juntamente com o teste de Dunnet. No final da análise, para avaliar a estabilidade dos modelos em um teste de validação, foram utilizados os critérios: coeficiente de determinação da predição (R^2), soma de quadrados do resíduo relativo (SQRR), raiz quadrada do erro médio (RQEM), erro médio percentual (EMP). Concluiu-se que as melhores formas de ajuste tanto para o modelo local quanto para o regional foi realizar um ajuste por classe, sendo o modelo regional o mais adequado a se utilizar.

Palavras-chave: teste de identidade, forma de ajuste, eucalipto.

Abstract: This chapter aimed to define the best way to fit hypsometric models for clonal eucalyptus in the southern region of the State of Tocantins, and then to analyze the accuracy of the chosen model, applying it in a different forest situation. The data were divided into two lots: one adjustment, with five trees of each plot, which stipulated three classes of diameter (cd) and three classes of dominant height (chd); and the second, of application, with three trees of each plot. Initially, we determined the percentage-adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), standard error of the estimate in percentage ($Sy_x\%$), and residual graphical analysis. A model identity test was then performed, followed by a completely randomized design (DIC) in the subdivided plot scheme, along with the Dunnet test. At the end of the analysis, to evaluate the stability of the models in a validation test, we used the following criteria: prediction determination coefficient (R^2), sum of squares of the residual residue (SQRR), square root mean error (RQEM) mean error (EMP). It was concluded that the best forms of adjustment for both the local and the regional model were to perform an adjustment by class, with the regional model being the most appropriate to use.

Key words: identity test, fit form, eucalyptus.

1. INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus* é um dos principais gêneros utilizados nos plantios florestais brasileiros devido à alta produtividade e diversidade de utilização. Há algumas décadas, diversos pesquisadores vêm analisando este gênero sob diferentes aspectos, dentre os quais, se destacam estudos destinados à modelagem da relação hipsométrica (MACHADO et al., 1993, BARTOSZECK et al., 2004, SOARES et al., 2004, RIBEIRO et al., 2010, RUFINO et al., 2010, OLIVEIRA et al., 2011; SOUSA et al., 2013).

Partindo do princípio que a altura não é uma função apenas do diâmetro, pois ambos crescem simultaneamente com a idade até determinado momento, há a necessidade de se testar diversos modelos estatísticos para selecionar um que melhor descreva a relação altura-diâmetro (relação hipsométrica) a partir de determinados critérios estatísticos, devendo corresponder à melhor estabilidade possível quanto à predição da altura de árvores que se mediu apenas o seu diâmetro (CURTIS, 1967; FINGER, 1992; BATISTA et al., 2001; BARROS et al., 2002).

De acordo com Regazzi & Silva (2004), é muito frequente o interesse em saber se um conjunto de equações ajustadas é idêntico, ou seja, se o caso em estudo pode ser representado por uma única equação. Neste âmbito cabe-se citar trabalhos utilizando o teste de identidade de modelos, que tem como intuito verificar a possibilidade de ajuste de equações comuns para diferentes grupos de indivíduos. Isso permite saber qual é a melhor forma de ajuste de um determinado modelo de relação hipsométrica, por exemplo, por classe de diâmetro, por classe de altura, por idade, dentre outras situações, evitando o ajuste inadequado de equações (SARMENTO et al., 2006; QUEIROZ et al., 2008; MARTINS et al., 2011; SANTOS et al., 2012; VENDRUSCOLO et al., 2015).

Diante disso, este estudo objetivou avaliar diferentes formas de agrupamento de dados para o ajuste de modelos hipsométricos em um plantio clonal de eucalipto localizado na região Sul do Estado do Tocantins.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta de dados e modelos hipsométricos utilizados

Este trabalho foi realizado com dados coletados em um plantio clonal do híbrido entre *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus spp.* (E1277) localizado na região Sul do Estado do Tocantins (Figura 1). Nesta região, a altitude é de 225 m com clima predominante tropical de estação seca (Classificação climática de Köppen-Geiger: Aw).

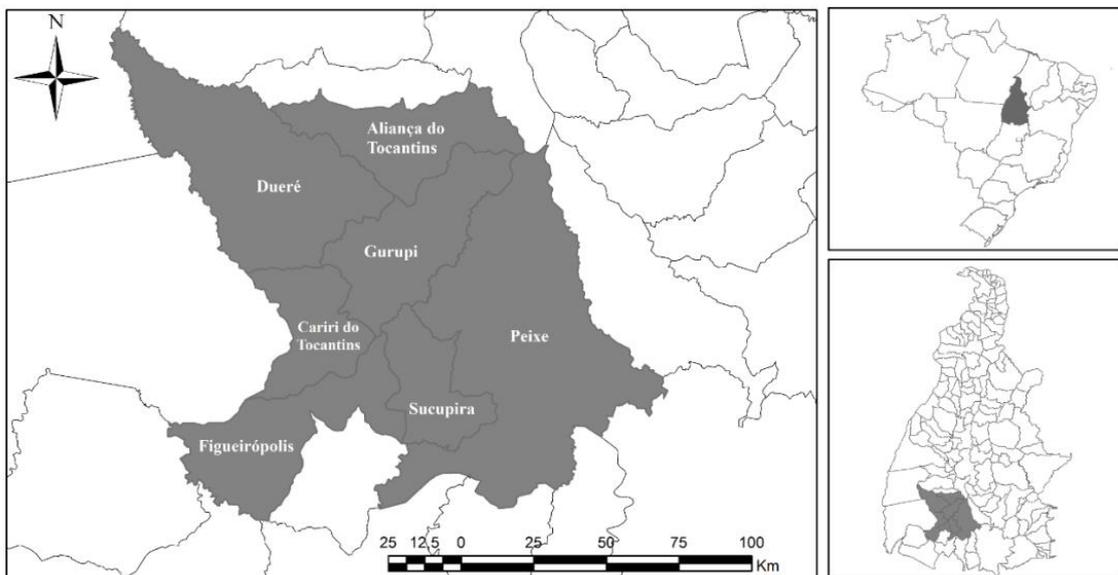


Figura 1: Localização da área de estudo na Região Sul do Estado do Tocantins. (Fonte: mapsofworld, adaptado).

O inventário realizado utilizou 11 parcelas retangulares e permanentes de 348 m² cada, onde, em cada parcela se mediu a altura total das oito primeiras árvores e de quatro árvores dominantes (Assmann, 1970). O plantio foi feito no espaçamento de 6 x 1,5 m e tinha cerca de 3 anos de idade na ocasião da coleta de dados.

Os dados do inventário foram divididos em dois lotes: o primeiro foi utilizado para o ajuste dos modelos, contou com cinco primeiras árvores de cada parcela, totalizando 55 árvores, divididas em três classes de diâmetro (cd) e três classes de altura dominante (chd). O segundo lote de dados constou das três árvores restantes de cada parcela, totalizando 33 árvores, utilizadas para um teste de validação.

Dentre os inúmeros modelos existentes na literatura, foram selecionados os dois mais testados para os plantios com *Eucalyptus* no Brasil, sendo um de

característica local, onde há apenas o diâmetro como variável independente, e outro de característica regional, que envolve também a altura dominante como variável independente (SCOLFORO, 1993, BARTOSZECK et al., 2002; MACHADO et al., 2008; ROSSI et al., 2011 e SOUSA et al., 2013). Os modelos hipsométricos utilizados foram:

$$(01) \ln h = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d}\right) + \varepsilon \text{ modelo local de Curtis (1967)}$$

$$(02) \ln h = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d}\right) + \beta_2(\ln h_d) + \varepsilon \text{ modelo regional de Campos et al. (1986)}$$

Em que:

$\ln h$ = logaritmo neperiano da altura;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros dos modelos;

d = diâmetro a altura do peito (1,3m);

$\ln h_d$ = logaritmo neperiano da altura dominante;

ε = erro do modelo.

2.2. Critérios estatísticos

Inicialmente, os modelos foram submetidos a uma análise estatística através dos critérios utilizados por Batista et al. (2001), Campos e Leite (2006), Leite et al. (2011), Vendruscolo et al. (2015), Santos et al. (2016), que foram: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), representando a quantidade de variação dos dados observados em torno da média; erro-padrão da estimativa ($S_{yx}\%$), que informa a qualidade do ajuste; e a análise gráfica dos resíduos, que permite visualizar se a equação ajustada subestima ou superestima os valores da variável independente. Os critérios tiveram como intuito verificar preliminarmente, qual modelo seria o mais adequado no ajuste aos dados.

O teste de identidade de modelos também foi utilizado (Tabela 1). Esse teste, descrito por GRAYBILL (1976), consistiu no uso do teste F para constatar se existe diferença significativa entre as regressões ajustadas para cada classe de diâmetro e classe de altura dominante isoladamente (modelo completo) e a regressão ajustada englobando todas as classes juntas (modelo reduzido), conforme relatam: Queiroz et al. (2008); Regazzi e Silva (2010); CAMPOS e LEITE (2013).

Tabela 1: Teste de identidade dos modelos para verificar a hipótese de que o modelo reduzido não apresenta diferença em relação ao modelo completo ajustados para cada agrupamento de classes

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Modelo Completo	(C*P)	SQ _(completo)		
Modelo Reduzido	P	SQ _(reduzido)		
Diferenças para Testar hipóteses	(C*P)-P	SQ _(diferença)	SQ _{(diferença)/(C*P)-P}	QM _(diferença)
Resíduos	N-(C*P)	SQ _(Total) - SQ _(completo)	SQ _{(reduzido)/N-(C*P)}	QM _(reduzido)
Total	N	SQ _(Total)	-	-

GL= grau de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio; F= teste F; C= número de classes; p= número de coeficientes ajustado do modelo; N= número total de dados, SQ(diferença)=SQ(completo) - SQ(reduzido).

O teste de identidade, também foi utilizado para indicar a combinação de classes mais apropriada para o lote de dados no caso de haver indicação do uso do modelo completo (Tabela 2).

Tabela 2: Combinações testadas no teste de Identidade de modelos considerando classe de DAP e HD

Combinações	Classes D ou HD
1	1, 2 e 3
2	1 e 2
3	2 e 3
4	1 e 3

D=DAP, HD=H/D

Os modelos avaliados na sua forma completa e reduzida foram:

$$\text{Modelo reduzido 1: } \ln H = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d}\right) + \varepsilon$$

$$\text{Modelo completo 1: } \ln H = (\beta_1 D_1) + \beta_2 \left(\frac{1}{d}\right) D_1 + (\beta_3 D_2) + \beta_4 \left(\frac{1}{d}\right) D_2 + (\beta_5 D_3) + \beta_6 \left(\frac{1}{d}\right) D_3 + \varepsilon$$

$$\text{Modelo reduzido 2: } \ln H = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{d}\right) + \beta_2 (\ln H_d) + \varepsilon$$

$$\text{Modelo completo 2: } \ln H = (\beta_1 D_1) + \beta_2 \left(\frac{1}{d}\right) D_1 + \beta_3 (\ln H_d) D_1 + (\beta_4 D_2) + \beta_5 \left(\frac{1}{d}\right) D_2 + \beta_6 (\ln H_d) D_2 + (\beta_7 D_3) + \beta_8 \left(\frac{1}{d}\right) D_3 + \beta_9 (\ln H_d) D_3 + \varepsilon$$

Na complementação das análises, optou-se pela aplicação de um Delineamento inteiramente casualizado (DIC) no esquema de parcelas subdivididas com posterior aplicação do teste de comparações múltiplas de *Dunnnett*, para o caso de haver significância do experimento em epígrafe. Também realizou-se um teste de validação, adotando-se os critérios: coeficiente de determinação da predição (R^2), soma de quadrados do resíduo relativo (SQRR), raiz quadrada do erro médio (RQEM) e erro médio percentual (EMP) (SCOLFORO et al., 1998; BATISTA et al., 2001; FISCHER et al., 2001; FIGUEIREDO et al., 2006; QUEIROZ et al., 2006; SILVA et al., 2011; LEITE et al., 2011; LANSSANOVA et al., 2013; PELISSARI et al., 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Dados de ajuste

A Tabela 3 apresenta os resultados dos critérios estatísticos R^2_{aj} e Syx para o modelo local e regional aplicados no conjunto de dados de ajuste ($n=55$).

Tabela 3: Resultados dos coeficientes obtidos da equação local e regional para o conjunto de dados de ajuste

Modelos	β_0	β_1	β_2	R^2_{aj}	Syx(%)
Local	3,29717	-6,03541	-	0,56	5,04
Regional	2,02733	-4,48918	0,40595	0,67	4,37

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros dos modelos; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; Syx(%)= erro padrão da estimativa.

Nota-se que ocorreu uma diferença expressiva entre os resultados. Para o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), os resultados foram de $\pm 0,56$ para o modelo local e de $\pm 0,67$ para o modelo regional. O modelo regional se sobrepõe ao local nessa estatística. Os valores encontrados foram semelhantes aos de Souza et al. (2017), sendo considerados satisfatórios para a modelagem da relação hipsométrica.

Quanto ao erro padrão da estimativa, obteve-se valores de $\pm 4,37\%$ com o modelo regional e de $\pm 5,04\%$ com o modelo local. Souza et al. (2017) encontraram resultados semelhantes para o modelo de Curtis em *Eucalyptus*. Ribeiro et al. (2010) e Oliveira et al. (2011) demonstraram a eficiência deste modelo no estudo da relação hipsométrica para *Eucalyptus*.

A análise gráfica dos resíduos permitiu verificar que o modelo com menor variação e distribuição residual mais homogênea foi o modelo regional, confirmando a sua superioridade juntamente com a análise dos critérios estatísticos anteriores (R^2_{aj} e Syx) (Figura 2).

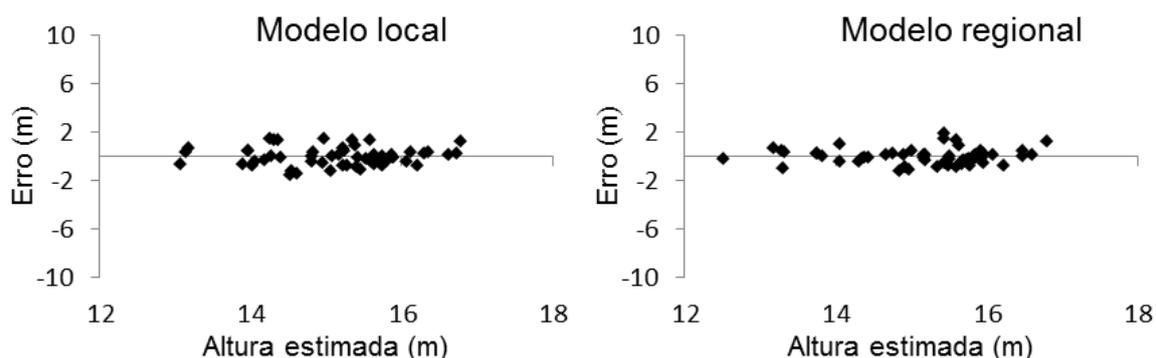


Figura 2: Dispersão dos resíduos do erro (m) em função da altura estimada (m) para os modelos local e regional do conjunto de dados de ajuste.

Após a análise dos critérios estatísticos iniciais, realizou-se o teste de identidade de modelos onde, primeiramente foi verificado se um ajuste no âmbito geral, contendo as três classes diâmetro (D) e classe de altura dominante (HD) seria o ideal para a estimativa das equações. Para o teste que apresentou resultado significativo no âmbito geral, foram realizados agrupamentos por classe de D e classe de HD, repetindo então o teste para verificar qual a forma de ajuste seria a mais adequada (Tabela 4).

Tabela 4: Resultados do teste de identidade de modelos por classe de D e HD

Modelo/tipo de agrupamento	SQ _(diferença)	F
Local cl D (A1)	0,00594	0,43 ^{ns}
Local cl HD (A1)	0,03504	3,21 ^{**}
Local cl HD (A2)	0,01489	2,29 ^{ns}
Local cl HD (A3)	0,00111	0,18 ^{ns}
Local cl HD (A4)	0,03007	4,33 ^{**}
Regional cl D (A1)	0,00757	0,53 ^{ns}
Regional cl HD (A1)	0,03764	3,87 ^{**}
Regional cl HD (A2)	0,00624	0,98 ^{ns}
Regional cl HD (A3)	0,02824	5,23 ^{**}
Regional cl HD (A4)	0,03183	6,45 ^{**}

SQ= Soma de quadrados; F= valor F calculado; **=significativo; ns =não-significativo; Local cl D/ HD= modelo local por classe de diâmetro/ altura dominante; Regional cl D/ HD=modelo regional por classe de diâmetro/ altura dominante; (A1)=ajuste geral para as 3 classes; (A2)=ajuste para as classes 1 e 2 separadas da 3; (A3)=ajuste para as classes 2 e 3 separadas da 1; (A4)=ajuste para as classes 1 e 3 separadas da 2.

Nesse caso, para o ajuste por classe de D, não houve diferença significativa, tanto para o modelo local ($F=0,43^{ns}$), quanto para o regional ($F=0,53^{ns}$), demonstrando não haver a necessidade de dividir os dados em classes, ou seja, pode-se obter uma única equação hipsométrica ajustada com todas as informações em um único lote de dados.

Para as classes de HD, houve diferença significativa com o Teste F aplicado ao tipo A1, para ambos os modelos local ($F=3,21^{**}$) e regional ($F=3,87^{**}$), indicando que não é ideal utilizar uma única equação, mas, uma equação para cada classe de HD, ou seja, obter três equações hipsométricas. Nesse caso, foi preciso verificar se havia possibilidade de combinações das classes para reduzir o número de equações. Constatou-se em relação ao modelo local por classe HD, que os agrupamentos do tipo A2 e A3 não resultaram em diferença significativa ($F=2,29^{ns}$ e $F=0,18^{ns}$) (Tabela 4). Esse resultado indica que é necessário considerar tal possibilidade de ajuste. Já, para o agrupamento do tipo A4, houve diferença significativa ($F=4,33^{**}$), indicando que não é ideal ajustar uma equação utilizando os dados das classes 1 e 3 separado da classe 2.

Quanto ao modelo regional por classe HD, no agrupamento do tipo A2 não houve diferença significativa ($F=0,98^{ns}$), mostrando que é ideal ajustar uma equação para as classes 1 e 2 e outra para a classe 3. Já, para os agrupamentos A3 e A4, houve diferença significativa ($F=5,23^{**}$ e $6,45^{**}$), indicando não ser ideal fazer um ajuste utilizando os dados das classes 2 e 3 em separado da classe 1 e outro ajuste utilizando os dados das classes 1 e 3 em separado da classe 2 (Tabela 4).

Um delineamento inteiramente casualizado (DIC) no esquema de parcelas subdivididas foi incluído nesta análise para a classe HD, onde as parcelas foram consideradas as próprias parcelas e as subparcelas foram: as alturas reais, as alturas estimadas para as 3 classes em conjunto e isoladamente, e as combinações de classes indicadas pelo teste de identidade (Tabela 5).

Tabela 5: Resultados do DIC em parcelas subdivididas para o modelo local e regional por classe HD

FV	GL	SQ	QM	F
Modelo local por classe HD				
Parcelas	10	152,9595	15,2960	8,474 ^{**}
Subparcelas	4	0,0120	0,0030	0,046 ^{ns}
Interação PxS	40	14,7586	0,3690	5,711 ^{**}
Modelo regional por classe HD				
Parcelas	10	161,6563	16,1656	12,149 ^{**}
Subparcelas	3	0,0054	0,0018	0,028 ^{ns}
Interação PxS	30	9,0021	0,3001	4,611 ^{**}

GL=grau de liberdade, SQ=soma de quadrados, QM=quadrado médio, F=valor F calculado, **=significativo ao nível de 5%, ns=não significativo ao nível de 5%.

Observou-se na Tabela 5 que houve diferença significativa para a interação entre parcelas e subparcelas, tanto para o modelo local (5,711^{**}) quanto para o regional (4,611^{**}), sendo, portanto, dispensável a avaliação dos resultados do teste F para parcelas e subparcelas isoladamente, pois, havendo interação significativa já se evidencia que ocorre influência dos modelos dentro das parcelas, e vice versa, sendo necessário o conhecimento de quais combinações de ajuste dos modelos influenciaram nas parcelas.

Procedeu-se então ao desdobramento da interação, para posterior aplicação do teste de comparações múltiplas de *Dunnnett*, que teve como intuito apontar o agrupamento de ajuste dos modelos que apresenta menor influência sobre as parcelas, resultando dessa forma, no melhor método de ajuste a ser utilizado (Tabela 6).

Para o modelo local, o agrupamento m1 apontou influência em 6 parcelas, e resultado não significativo nas 5 restantes (45,5%); o agrupamento m2 já apontou significância em apenas 3 parcelas, sendo não significativo nas 8 restantes (72,7%), o que indica que há mais semelhança na estimativa da altura por meio deste agrupamento, pois o número de parcelas não significativas é grande perante os demais (Tabela 6).

Tabela 6: Teste de *Dunnnett* indicando a influência dos arranjos de ajuste dos modelos local e regional para as classes de HD dentro de cada

Parcelas	Local				Regional		
	m1	m2	m3	m4	m1	m2	m3
26	**	NS	**	NS	NS	NS	NS
27	**	NS	**	NS	NS	NS	NS
28	**	**	**	**	**	NS	NS
29	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS
30	NS	**	NS	**	NS	NS	NS
31	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
32	**	NS	**	NS	NS	NS	NS
33	**	**	**	**	**	NS	NS
34	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
36	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
37	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Em que: m1=modelo ajustado para as 3 classes; m2= modelo ajustado para cada classe separadamente; m3= modelo ajustado para as classes 1 e 2, separado da classe 3; m4=modelo ajustado para as classes 2 e 3, separado da classe 1.

O agrupamento m3 mostrou influência em 5 parcelas, estando 6 com resultado não significativo (54,5%); e o agrupamento m4 demonstrou influência sobre 4 parcelas, com as 7 restantes não significativas (63,6%). Isto demonstra que, para o modelo local, a melhor forma de ajuste é utilizando o agrupamento m2 (maior percentual de parcelas não significativas, cerca de 72,7%), que é aquele em que se ajusta uma equação para cada classe isoladamente.

Para o modelo regional, houve uma opção a menos que para o local, já que o teste de identidade realizado anteriormente apontou não haver diferença significativa apenas para as classes 1 e 2, separadas da 3. Havendo três opções de arranjo de ajuste do modelo regional nota-se que: a opção m1 demonstrou apresentar influência em 2 parcelas, e obteve resultado não significativo para as outras 9 parcelas (81,8%); já a opção m2 apontou resultado não significativo para todas as parcelas (100%), ou seja, pelo teste de *Dunnett*, a altura estimada é, estatisticamente, igual a altura observada quando se utiliza o ajuste do modelo para cada classe isoladamente. A opção m3 também apontou resultado não significativo para todas as parcelas (100%), demonstrando que, quando se ajusta a equação regional para as classes 1 e 2, e outra para a classe 3, as alturas estimadas são estatisticamente iguais as alturas observadas.

Mesmo as opções m2 e m3 do modelo regional terem apresentado o mesmo número de parcelas não significativas (100%), e, portanto igualmente eficientes no ajuste do modelo, optou-se pela seleção da opção de ajuste m2, pois se tratando do ajuste de cada classe, se ocorrer uma utilização em larga escala se tornaria um processo menos oneroso quando comparado ao agrupamento m3, onde teriam que haver grupos de classes tantas quantas existissem (Tabela 6).

3.2. Dados de aplicação

Nos resultados dos critérios de ajuste, foram escolhidas as opções de ajuste: modelo reduzido local e regional, por ter sido a opção que obteve resultados melhores na avaliação por classes de diâmetro e, para a classe de altura dominante, selecionou-se a opção em que há o ajuste de uma equação para cada classe isoladamente, por ter sido a melhor, tanto para o modelo local quanto para o regional por classe de HD.

Diante disso, as opções selecionadas foram analisadas em dados de aplicação, com a análise de critérios estatísticos que avaliam a acuracidade das predições (Tabela 7).

Na estatística R^2 houve superioridade nos modelos regionais, tanto no modelo reduzido com 0,622, quanto no modelo regional por classe de HD, com 0,837, em que, este último se sobressaiu ao primeiro, com maior resultado e portanto, melhor. O modelo local para este critério teve resultados inferiores, implicando menor exatidão do modelo na predição da altura das árvores. Quanto a SQRR, nota-se que houve menores resultados para os modelos local e regional por classe HD, indicando menores resíduos relativos, com valores de 0,0012 para o local cl HD, e 0,0003 para o regional cl HD, onde este último obteve o melhor resultado.

Tabela 7: Resultados dos critérios de análise obtidos para a equação local e regional para o conjunto de dados do lote de aplicação

	Local reduzido	Regional reduzido	Local cl HD	Regional cl HD
R^2	0,429	0,622	0,644	0,837
SQRR	0,0035	0,0034	0,0012	0,0003
RQEM	1,14	0,92	0,90	0,61
EMP	4,42	2,86	2,85	1,19

R^2 = coeficiente de determinação da predição; SQRR: soma de quadrados do resíduo relativo; RQEM: raiz quadrada do erro médio; EMP: erro médio percentual; Local reduzido=modelo local na forma reduzida; regional reduzido=modelo regional na forma reduzida; local cl HD=opção selecionada do modelo local para os dados de ajuste em que se usa uma equação para cada classe de HD; regional cl HD= opção selecionada do modelo regional para os dados de ajuste em que se usa uma equação para cada classe de HD.

Por outro lado, para RQEM em que, a opção selecionada para o modelo regional por classe de HD, se sobressaiu aos demais com valor de $\pm 0,61$, lembrando que quanto menor o valor dessa estatística, maior a exatidão do modelo. Os modelos locais por classe de HD apresentaram valores superiores de RQEM, de $\pm 1,14$ para o modelo local reduzido e $\pm 0,90$ para o modelo local por classe de HD. Já, para EMP, o modelo regional por classe de HD apresentou o menor resultado de erro médio, com 1,19%, sendo o maior erro médio obtido pelo modelo local reduzido, com o valor de 4,42% (Tabela 7).

Diante desta análise, evidencia-se a superioridade do modelo regional por classe de HD, que obteve melhores resultados em todos os critérios. Inclusive na análise da distribuição de resíduos (Figura 3).

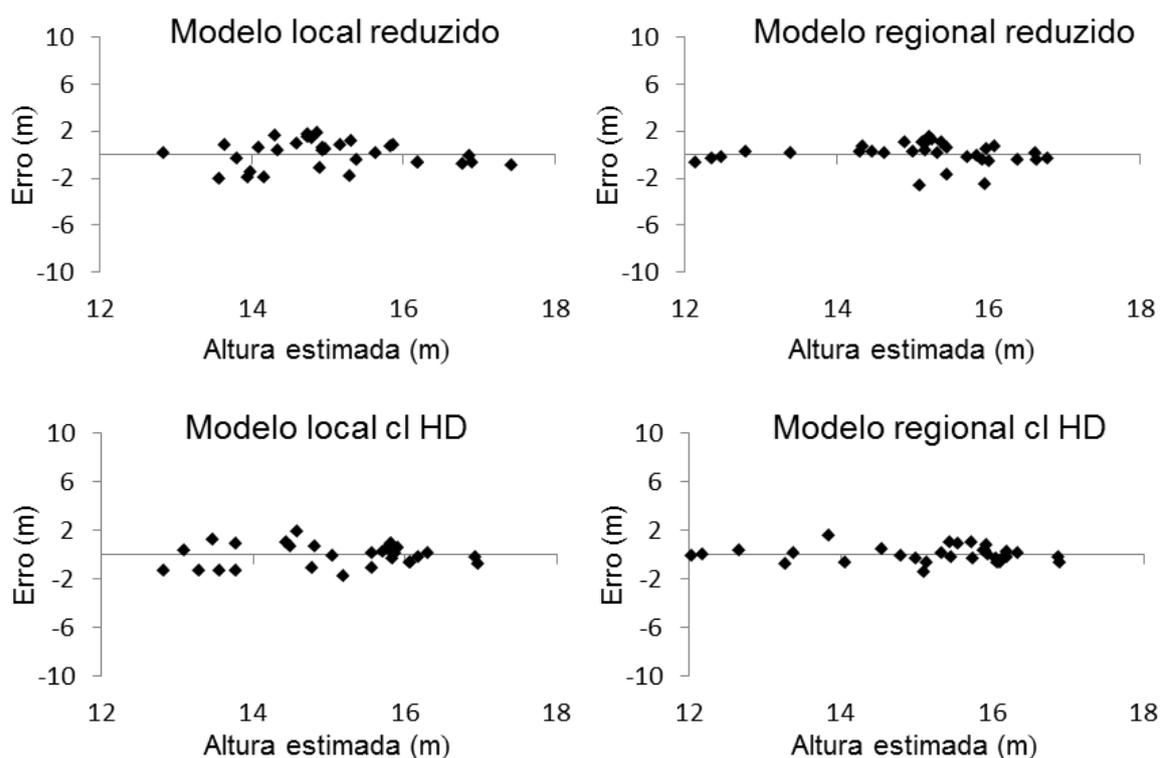


Figura 3: Dispersão gráfica residual do erro(m) em função da altura estimada(m) para os modelos reduzidos local e regional e dos modelos local e regional por classe de HD para os dados de aplicação.

Nota-se que árvores de até 16 metros, apresentam maior dispersão dos pontos, havendo alguma estabilidade apenas após essa altura, ocorrendo maior proximidade dos pontos à linha de tendência. No modelo reduzido regional, há também maior variação para árvores com altura até 16 metros, porém, menor quando comparado ao modelo reduzido local. De maneira geral, o modelo reduzido regional conta com uma linha de tendência mais homogênea, com pontos mais próximos, indicando possuir um melhor desempenho no seu uso.

Para o modelo local por classe de HD, a dispersão dos pontos também é maior em árvores com altura até 16 metros e, acima disso, os pontos se tornam mais próximos da linha central, indicando um bom comportamento para maiores alturas. No modelo regional por classe de HD, há maior variação para árvores com altura em torno dos 14 metros e, para alturas maiores, os pontos encontram-se mais homogêneos, próximos à linha de tendência.

4. CONCLUSÕES

Através do teste de identidade de modelos concluiu-se que as melhores formas de ajuste para cada classe de HD, tanto para o modelo local quanto para o regional, foi utilizar o modelo completo, ou seja, uma equação para cada classe. Já para as classes de diâmetro (D), a melhor opção foi ajustar uma equação para as três classes de maneira geral, tanto para o modelo local quanto para o regional, isto é, usar o modelo reduzido.

A análise do DIC em parcelas subdivididas, em conjunto com o teste de comparações múltiplas de Dunnett, realizados para os modelos por classe de HD, confirmou o que havia sido apontado pelo teste de identidade, onde a melhor opção a ser utilizada foi o ajuste para cada classe, separadamente, sendo que o modelo regional se sobressaiu aos demais, mostrando ser o melhor.

Na aplicação dos dados ocorreu superioridade do modelo regional por classe de HD em todos os critérios estatísticos analisados, onde o ajuste foi realizado para cada classe separadamente, sendo esta a melhor forma de ajuste para os dados desse plantio clonal de *Eucalyptus*.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. New York: Pergamon, 1970. 506 p.

BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 45, p. 3-28, 2002.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, vol. 32, n. 2, p. 189-204, 2002.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 517-533, 2004.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 149-163, 2001.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2013. 605p.

CURTIS, R. O. Height diameter and height diameter age equations for second growth Douglas-fir. **Florest Science**, Washington, v.13, n.4, p.356-375, 1967.

FANG, Z.; BAILEY, R.L. Height-diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 110, p. 315-327, 1998.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L. f. **Acta Amazonica**, v. 36, p. 465-482, 2006.

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

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; JÚNIOR, F. W. A.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 11, p. 167-188, 2001.

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

LANSSANOVA, L. R.; UBIALLI, J. A.; ARCE, J. A.; PELISSARI, A. L.; FAVALESSA, C. M. C.; DRESCHER, R. Avaliação de funções de afilamento para a estimativa de diâmetro de espécies florestais comerciais do bioma amazônico mato-grossense. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 215-224, 2013.

LEITE, H. G.; CASTRO, R. V. O.; SILVA, A. L. ; JÚNIOR, C. A. A.; Binoti, D. H. B.; CASTRO, A. F. N. M.; BINOTI, M. L. M. S. Classificação da capacidade produtiva de povoamentos de eucalipto utilizando diâmetro dominante. **Silva Lusitana**, v. 19, p. 181-195, 2011.

MACHADO, S. A.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JUNIOR, V. G. Teste de modelos matemáticos para o ajuste da relação hipsométrica em diferentes sítios e idades para plantações de *Pinus elliotii* no Estado do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v.2, p.553-556.

MACHADO, S. A., NASCIMENTO, R. G. M., AUGUSTYNCZIK A. L. D., SILVA, L. C. R., FIGURA, M. A., PEREIRA, E. M., TÉO, 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, F.B.; SOARES, C.P.B.; LEITE, H.S.; SOUZA, A.L. de; CASTRO, R.V.O. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1089-1098, 2011.

OLIVEIRA, F.G.R.B.; SOUSA, G.T.O.; AZEVEDO, G.B.; BARRETO, P.A.B. Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n.13, p.331-338, 2011.

PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, p. 173-181, 2011.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO A. J.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella Benth* em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 339-349, 2008.

REGAZZI, A. J, SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 22, p. 33-45, 2004.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.3, p.315-320, 2010.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus sp.* **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 22-31, 2010.

ROSSI, A. S.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L.f. no município de Monte Dourado, PA: **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 301-307, 2011.

RUFINO, R. F., MIGUEL, E. P., SANTOS, G. A., SANTOS, T. E. B., SOUZA, F. Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucalipto conduzido sobre o sistema de rebrota. **Enciclopedia Biosfera**, Goiânia, v.6, n.10, p. 1-10, 2010.

SANTOS, T.C.; MURAKAMI, A.E.; OLIVEIRA, C.A.L.; COSTA, P.D. Desenvolvimento corporal e testicular em machos de codornas de corte e de postura de 25 a 360 dias. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.32, p.1205-1212, 2012.

SANTOS, M. J. F.; ANDRADE, V. C. L.; SOUZA, P. B. Amostragem relativa de dados da relação hipsométrica de cerrado Tocantinense. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 4, p. 633-645, 2016.

SARMENTO, J. L. R.; REZAZZI, A. J.; SOUZA, W. H.; TORRES, R. A.; BREDA, F. C.; MENEZES, G. R. O. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.435-442, 2006.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3**: relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica. Lavras: ESAL/FAEPE, 292 p, 1993.

SILVA, F.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. **Scientia Forestalis**, v. 39, p. 367-376, 2011.

SOUSA, G.T.O.; AZEVEDO, G.B.; BARRETO, P.A.B.; JÚNIOR, V.C. Relações hipsométricas para *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia. **Scientia Plena**, v. 9, n. 4, p. 1-7, 2013.

SOUZA, A. S.; SANTOS, J. X.; SOUZA, D. V. Modelagem da relação hipsométrica para um povoamento híbrido de eucalipto na Amazônia Brasileira. **Biofix scientific journal**, v.2 n.1, p. 44-53, 2017.

SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; MAESTRE, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. **Cerne**, v. 4, n. 1, p. 100-122, 1998.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; CHAVES, A. G. S.; SILVA, R. S.; SOUZA, H. S.; MEDEIROS, R. A.; MOTTA, A. S.; SILVA, F. T. Identidade em Modelos Hipsométricos para *Tectona grandis* com Diferentes Espaçamentos em Cáceres-MT. **Nativa**, v. 3, p. 44-49, 2015.

CAPÍTULO 2

MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA EUCALIPTO CLONAL NO SUL DO TOCANTINS

Resumo: Este capítulo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar modelos de relação hipsométrica para plantios clonais de eucalipto e comparar os resultados com aqueles obtidos no capítulo 1, obtendo dessa forma o modelo mais adequado a ser utilizado na região Sul do Estado do Tocantins. Os dados foram obtidos em 11 parcelas de 348 m² cada, separados em dois lotes, onde inicialmente aplicaram-se os critérios de precisão: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e análise gráfica residual. Em seguida foram aplicados os critérios de estabilidade empregando-se a técnica de validação cruzada entre os dois lotes de dados, foram estes: erro médio absoluto, raiz do quadrado médio e soma de quadrados do erro médio. Os modelos selecionados foram submetidos a uma nova análise, utilizando-se os lotes de dados do capítulo 1, e os resultados obtidos foram comparados, obtendo dessa forma o melhor modelo a ser utilizado. Concluiu-se que o melhor modelo local foi o 14 de Chapman-Richards, o melhor modelo regional foi o parabólico 03, e na comparação com os modelos selecionados no capítulo 01, o mais adequado para o plantio foi o modelo regional parabólico 3, proveniente do capítulo 02.

Palavras-chave: validação cruzada, modelagem florestal, relação altura/diâmetro.

Abstract: This chapter was developed with the objective of evaluating models of hypsometric relation for clonal eucalyptus plantations and compare the results with those obtained in chapter 1, obtaining in this way the most suitable model to be used in the southern region of the State of Tocantins. The data were obtained in 11 plots of 348 m² each, separated into two lots, where the precision criteria were applied: adjusted coefficient of determination, standard error of the estimate and residual graphical analysis. Then the stability criteria were applied using the cross-validation technique between the two batches of data, these were: absolute mean error, root mean square and sum of squares of mean error. The selected models were submitted to a new analysis, using the datasets of chapter 1, and the obtained results were compared, obtaining in this way the best model to be used. It was concluded that the best local model was Chapman-Richards 14, the best regional model was parabolic 03, and in comparison with the models selected in chapter 01, the most suitable for planting was the regional parabolic model 3, of chapter 02.

Keywords: cross-validation, forest modeling, height-to-diameter ratio.

1. INTRODUÇÃO

Com a intensa demanda por madeira no Brasil, os plantios florestais vêm sendo uma forma de redução nos impactos ambientais causados às florestas naturais que, a princípio, eram a única fonte de matéria-prima para as indústrias florestais. Além disso, as florestas plantadas desempenham um papel ecológico fundamental para o ecossistema, considerando a quantidade de carbono atmosférico resgatado, minimizando, dessa forma, ações do efeito estufa.

A grande atuação dos plantios florestais no Brasil apontam a necessidade da aplicação de técnicas de inventário florestal cada vez mais confiáveis, onde o uso de equações para estimativa de volume e altura das árvores são cada vez mais exigidas. Nesse caso, a altura está entre uma das variáveis mais importantes de um inventário florestal, sendo empregada para compor equações de volume aplicadas na quantificação do estoque volumétrico e na identificação dos índices de sítio, informações fundamentais para balizar o ordenamento da produção florestal.

Ocorre que a medição da altura de árvores se constitui de um processo oneroso e pode ser inviável quando se realiza um inventário onde se pretende medir esta variável em todas as árvores que compõem a amostra. Por isso, nos inventários florestais, costuma-se medir a altura de apenas algumas árvores, e então, gerar uma equação a fim de ser empregada nas demais árvores em que se mediu somente o diâmetro, o que propicia reduções de custos nos processos de medição. Tal equação advém do ajuste de um modelo hipsométrico e, seu emprego, é de grande significado prático a ser considerado em um sistema de inventário (BATISTA et al., 2001; RIBEIRO et al., 2008; AZEVEDO et al., 2011).

Na literatura florestal, se encontram muitos modelos hipsométricos já intensivamente avaliados para *Eucalyptus* e adequados para estimar de forma confiável a altura média das árvores, conforme se vê em: Batista et al. (2001), Barros et al. (2002), Nogueira (2003), Soares et al. (2007), Donadoni et al. (2010), Rossi et al. (2011).

Diante do contexto e da ausência de trabalhos sobre relação hipsométrica de eucalipto no Tocantins, este trabalho teve como objetivo avaliar modelos de relação hipsométrica para um plantio clonal de eucalipto, incluindo-se uma comparação com os resultados obtidos no capítulo 1.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e descrição dos dados

Os dados foram obtidos em 11 parcelas de 348 m² instaladas em um plantio clonal de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus spp.* (E1277). Tal plantio, com espaçamento inicial de 6 x 1,5 m, têm cerca de 3 anos de idade e se localiza na região centro-sul do Estado do Tocantins (Figura 4), com altitude de 225 m, e o clima predominante é o tropical com estação seca (Classificação climática de Köppen-Geiger: Aw).

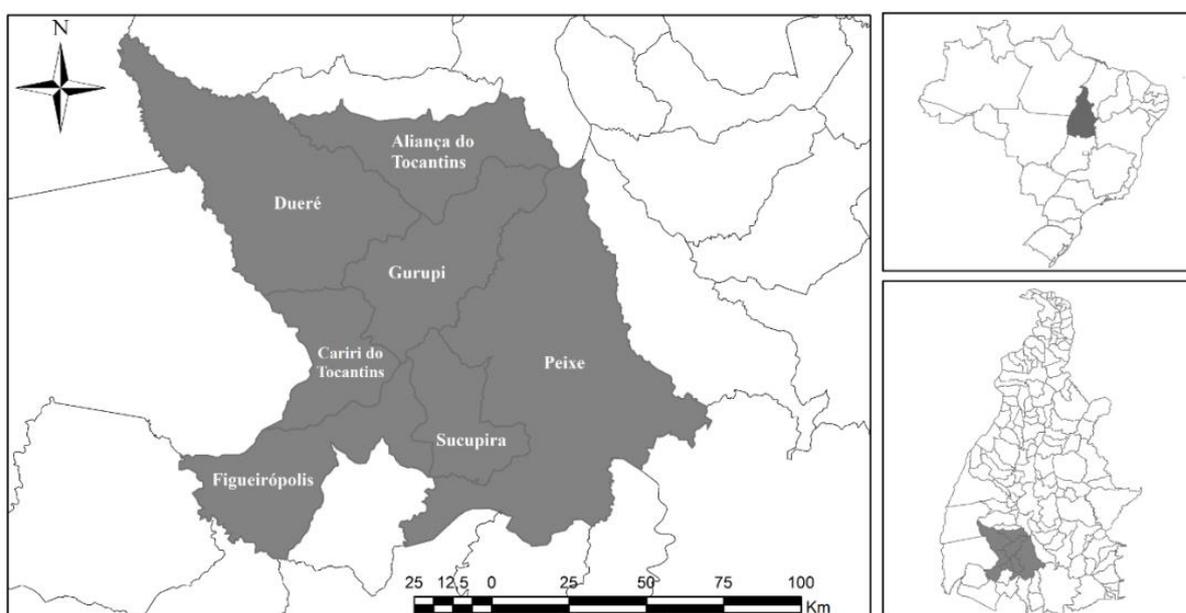


Figura 4: Localização da área de estudo no Estado do Tocantins. (Fonte: mapsofworld, adaptado).

Nas 11 parcelas, mediu-se o diâmetro de todas as árvores com valor maior, ou igual a 3 cm e a altura total de oito primeiras árvores, além da altura total de quatro árvores com maior diâmetro para obter-se a altura média de árvores dominantes, referente à altura das 100 árvores de maior diâmetro por hectare.

As informações obtidas foram separadas em dois bancos de dados para o emprego da técnica de validação cruzada, utilizando-se duas amostras (2 bancos de dados) (BATISTA et al., 2001). Para isso, separadamente, empregou-se um banco de dados no ajuste de vários modelos hipsométricos e um segundo banco de dados na validação das equações hipsométricas geradas e vice-versa.

2.2. Modelos hipsométricos avaliados

Os modelos hipsométricos locais se caracterizam pelo relacionamento da altura total das árvores apenas com o seu diâmetro, ou, transformações destas variáveis dependentes e independentes, respectivamente (FINGER, 1992). Nesse caso, os modelos hipsométricos locais avaliados foram utilizados por Batista et al. (2001), Barros et al. (2002), Araujo et al. (2012), Donadoni et al. (2010), Ribeiro et al. (2010), Machado et al. (2008) (Tabela 8).

Tabela 8: Modelos hipsométricos locais avaliados em um plantio de eucalipto E1277 localizado no sul do Tocantins

Modelo	Forma de ajuste
1	$h = \beta_0 + \beta_1(1/d) + \varepsilon$
2	$h = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$
3	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \ln \varepsilon$
4	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1(1/d) + \varepsilon$
5	$(1/h) = \beta_0 + \beta_1(1/d) + \varepsilon$
6	$(d^2/h) = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \varepsilon$
7	$(d^2/h) = \beta_0 + \beta_1(d^2) + \varepsilon$
8	$(1/\sqrt{h}) = \beta_0 + \beta_1(1/d) + \varepsilon$
9	$(1/\sqrt{h}) = \beta_0 + \beta_1(1/d) + \beta_2(1/d)^2 + \varepsilon$
10	$(1/h) = \beta_0 + \beta_1(1/d)^2 + \varepsilon$
11	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1\{\ln[d/(1+d)]\} + \varepsilon$
12	$h = \beta_0 + \beta_1[1/(d^{-1})]$
13	$h = \beta_0 \exp(\beta_1/d) + \varepsilon$
14	$h = \beta_0[1 - \exp(-\beta_1 d)]^{\beta_2} + \varepsilon$
15	$h = \beta_0/[1 + \exp(\beta_1 - d)] + \varepsilon$

h=altura total(m); d= diâmetro situado à 1,3 do terreno(cm); β_0 , β_1 , β_2 = parâmetros à serem estimados; Ln= logaritmo neperiano; exp=inverso de Ln; ε = erro do modelo.

Por outro lado, os modelos hipsométricos dito regionais se caracterizam pelo relacionamento da altura total das árvores, além do diâmetro, com outras variáveis independentes e, ou, suas transformações, tais como: altura dominante, idade, diâmetro médio quadrático e número de árvores por hectare (CARDOSO et al., 1989; BARROS et al., 2002; BARTOSZECK et al., 2004, FINGER, 1992). Neste caso, foram avaliados os modelos hipsométricos regionais utilizados por Barros et al. (2002), Ribeiro et al. (2010), Rossi et al. (2011), Neto (2012), Scolforo, (1993), Bartoszeck et al. (2002) e Machado et al. (2008) (Tabela 9).

2.3. Critérios de avaliação dos modelos

Inicialmente, além da análise da distribuição de resíduos, foi verificada a qualidade do ajuste dos modelos por meio do coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}) e do erro padrão residual (s_{yx}), conforme critérios utilizados por muitos trabalhos com enfoque em modelos hipsométricos, cabendo citar: Donadoni et al. (2010), Ribeiro et al. (2010), Tomé et al. (2007), Schneider et al. (2009), nos quais se pode ver as formulações e procedimentos de análises.

Tabela 9: Modelos hipsométricos regionais avaliados em um plantio de eucalipto E1277 localizado no sul do Tocantins

Modelo	Forma de ajuste
1	$h = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \beta_3(d/hd) + \varepsilon$
2	$h = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \beta_3(hd) + \beta_4(n)$
3	$h = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \beta_3(hd) + \varepsilon$
4	$\ln(h) = \beta_0(1/d) + \beta_1(hd) + \beta_2(N/d) + \ln\varepsilon$
5	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1\ln(hd) + \beta_2(1/d) + \beta_3\ln(dq/d) + \beta_4\ln(dq/hd) + \ln\varepsilon$
6	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1\ln(hd) + \beta_2[\ln(dq/d)] + \beta_3(1/d^{-1}) + \beta_4\ln(d^{-1}) + \ln\varepsilon$
7	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1(dq/d) + \beta_2\ln(hd) + \beta_3(1/Nd) + \beta_4[\ln(1/d)] + \ln\varepsilon$
8	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1(1/d) + \beta_2\ln(hd) + \beta_3[(1/d) - (1/dq)] + \beta_4[\ln(N/d)] + \ln\varepsilon$
9	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1\ln(hd) + \beta_2(1/dq) + \beta_3\ln(Nd) + \beta_4(1/d) + \ln\varepsilon$
10	$(h/hd) = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \beta_3(d/hd) + \varepsilon$
11	$h = [\beta_0 + \beta_1(hd) + \beta_2(dq)]\exp(-\beta_3\sqrt{d}) + \varepsilon$
12	$h = \beta_0(dqn)^{\beta_1} [1 - \exp(-\beta_2N^{\beta_3}d)] + \varepsilon$
13	$h = \beta_0hd^{\beta_1} [1 - \exp(-\beta_2(N/dq)^{\beta_3}d)] + \varepsilon$
14	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1(1/d) + \beta_2\ln(hd) + \ln\varepsilon$

h =altura total(m); d = diâmetro situado à 1,3 do terreno(cm); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros à serem estimados; \ln = logaritmo neperiano; \exp =inverso de \ln ; ε = erro do modelo; hd = altura dominante; dq = diâmetro médio quadrático e N = nº de indivíduos por hectare.

Visando facilitar uma escolha prévia dos melhores modelos hipsométricos, separadamente, para modelos hipsométricos locais e regionais, foi realizada uma classificação quanto aos resultados obtidos pelas estatísticas R_{aj} e S_{yx} . Portanto, para cada um dos dois lotes de dados, o melhor resultado classificou um determinado modelo em primeiro lugar sendo atribuído a este nota 1 e, sucessivamente, até o pior modelo hipsométrico que recebeu uma nota respectiva à sua classificação.

A soma das notas obtidas permitiu classificar os modelos locais e regionais em cada lote de dados. Em seguida, os modelos hipsométricos que mais se destacaram, tiveram suas predições avaliadas por meio de uma validação cruzada aplicando-se os critérios estatísticos: erro médio absoluto (EMA), raiz do quadrado médio (RQM) e soma do quadrado do erro relativo (SQER), conforme utilizados por Scolforo et al. (1998), Batista et al. (2001), Fischer et al. (2001), Figueiredo et al. (2006), Silva et al. (2011), Lanssanova et al. (2013), Pelissari et al. (2011):

Na validação cruzada, os resultados de EMA, RQM e SQER, também foram englobados em um único valor com a atribuição de notas para cada modelo, gerando uma classificação geral e, dessa forma, apontando o melhor modelo a ser utilizado. Por fim, após obter o melhor modelo local e regional, os mesmos foram comparados com os resultados apresentados no capítulo 1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Modelos hipsométricos locais

Utilizando-se os dois sub-conjuntos de dados (Lotes 1 e 2), avaliou-se o ajuste de 15 modelos hipsométricos locais (Tabela 8) obtendo-se os seis melhores classificados de acordo com R^2_{aj} e s_{yx} (Tabela 10), que foram: 1, 4, 7, 9, 13 e 14. Nota-se, em todos os critérios estatísticos, que há pouca diferença entre os seis modelos selecionados tanto para o lote 1 quanto para o lote 2 de dados. Ocorreu uma variação para R^2_{aj} de $\pm 0,496$ á $\pm 0,567$, sendo que os melhores resultados encontram-se no lote 1, onde o modelo 9 se mostrou o melhor, com R^2_{aj} de $\pm 0,567$.

Tabela 10: Resultados estatísticos dos seis melhores modelos hipsométricos locais para um povoamento de eucalipto E1277 localizado no Sul do Tocantins

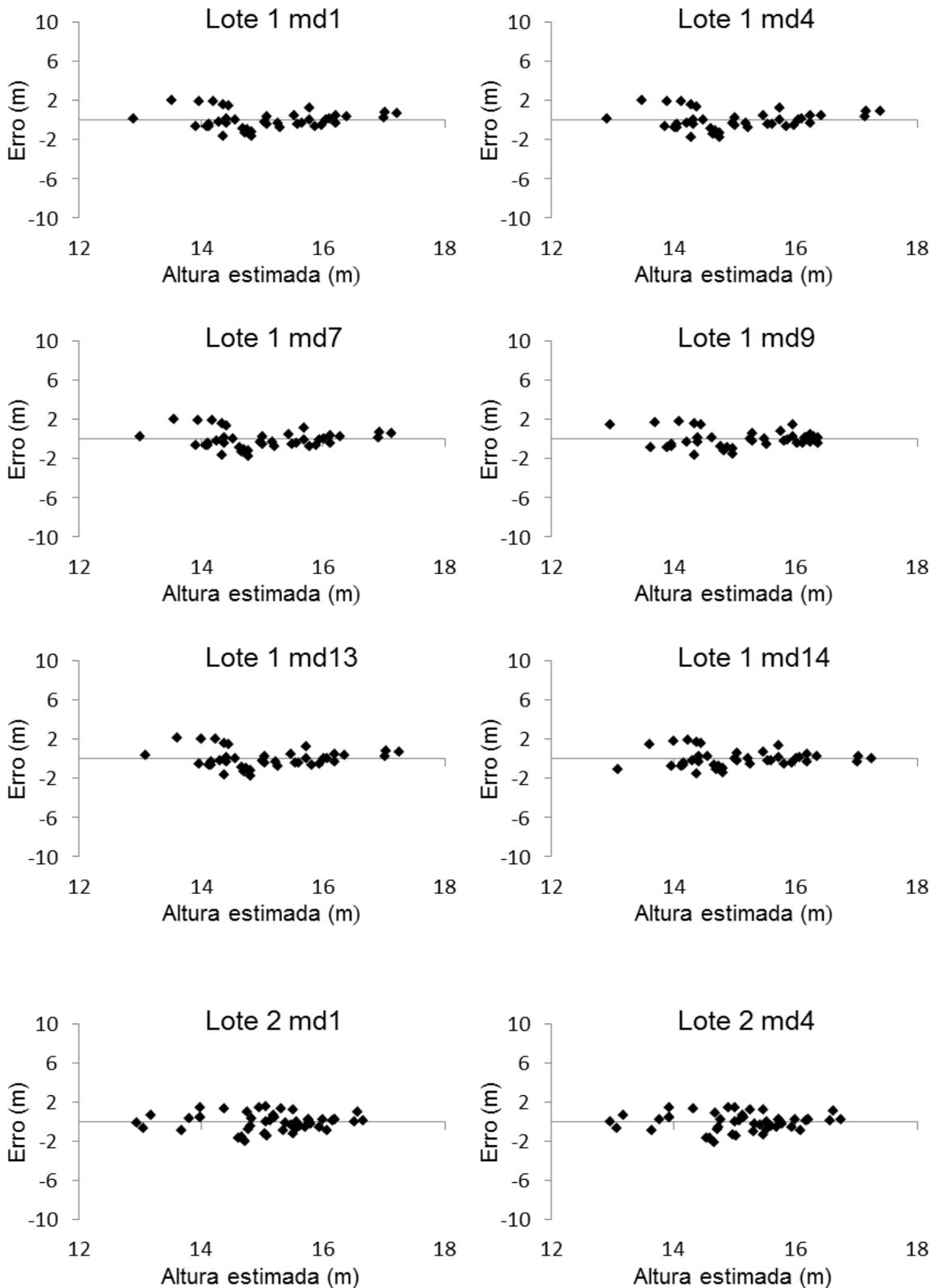
Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	R_{aj}	S_{yx} (m)	S_{yx} (%)	CG
Lote de dados 1							
md1	26,15	-110,98	-	0,5232	0,9386	6,22	4 ^o
md4	3,473	-7,66	-	0,5054	0,956	6,34	4 ^o
md7	2,375	0,043	-	0,5127	0,9488	6,29	1 ^o
md9	0,485	-5,702	34,045	0,5673	0,8823	5,85	3 ^o
md13	30,567	-7,104	-	0,5091	0,9524	6,31	5 ^o
md14	16,729	0,848	433,1	0,5671	0,8943	5,93	2 ^o
Lote de dados 2							
md1	23,26	-84,62	-	0,5036	0,9365	6,13	
md4	3,27	-5,797	-	0,4986	0,8917	5,88	
md7	1,924	0,048	-	0,5016	0,889	5,86	
md9	0,244	-0,457	6,131	0,4957	0,8944	5,9	
md13	25,966	-5,641	-	0,4994	0,8924	5,89	
md14	17,38	0,371	6,36	0,4978	0,8923	5,9	

β_0 , β_1 , β_2 = parâmetros dos modelos; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa; CG: classificação geral do ranking ponderado para cada modelo

Para a estatística s_{yx} , houve resultados variando de $\pm 5,85\%$ a $\pm 6,34\%$, sendo valores bem próximos aos já encontrados por Batista et al. (2001), Barros et al. (2002) e Bartoszeck et al. (2004). No lote de dados 1, o melhor modelo por este critério foi o modelo 9 ($\pm 5,85\%$) e no lote 2 o melhor modelo foi o 7 ($\pm 5,86\%$). Já, na classificação dos modelos através das estatísticas R^2_{aj} e s_{yx} , o modelo 7 aparece em primeiro lugar e o modelo 14 em segundo lugar.

Quanto à análise gráfica dos resíduos (Figura 5), nota-se que todos os modelos apresentam tendências, com subestimativas ou superestimativas.

Isso ocorreu de forma mais acentuada em árvores com DAP menor que 10 cm, onde a altura estimada apresentou maior dispersão nas árvores com valor inferior a 15 m tendo erro absoluto variando de ± 2 m.



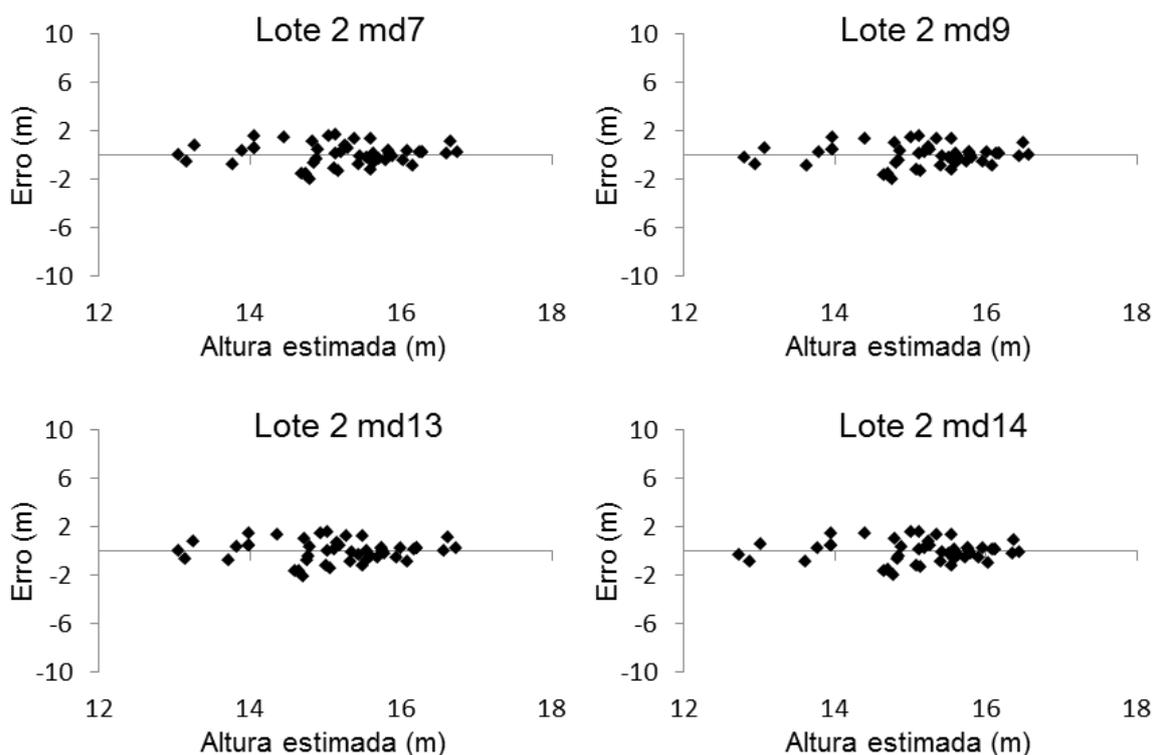


Figura 5: Análise da distribuição de resíduos dos seis modelos locais selecionados para os lotes 1 e 2.

O modelo 7, que havia se mostrado melhor nos critérios de R^2_{aj} e s_{yx} , não obteve o mesmo comportamento na análise gráfica (Figura 5). Nota-se, que no Lote 1, este apresentou grande discrepância para árvores com menores alturas. No Lote 2, os dados foram mais homogêneos ao longo da linha de regressão, porém, também inferiores quando comparados ao modelo 14, o qual ficou em segundo lugar (Tabela 10). Tal modelo 14, se mostrou melhor na análise da distribuição de resíduos em ambos os lotes de dados 1 e 2.

Na Tabela 11 expôs-se a avaliação feita com validação cruzada dos seis melhores modelos hipsométricos locais. Nota-se, no quesito EMA, que os modelos que apresentaram menor valor em cada lote de dados foram o modelo 14 ($\pm 0,2352$) para o lote 1 e o modelo 7 ($\pm 0,1817$) para o lote 2. Para a estatística RQM, os resultados variaram de $\pm 0,9591$ para o modelo 7 no lote 1 até $\pm 1,046$ para o modelo 9 no lote 1. Já, para SQER, obteve-se o modelo 7 como o melhor no lote 1 ($\pm 0,1974$) e o modelo 14 como o melhor no lote 2 ($\pm 0,1914$). É visível que os modelos 7 e 14 foram os melhores em âmbito geral para os três critérios, assim como aponta a classificação geral, que coloca o modelo 7 em primeiro lugar e o modelo 14 em segundo (Tabela 11).

Tabela 11: Resultados obtidos na validação cruzada dos seis melhores modelos hipsométricos locais 1, 4, 7, 9, 13 e 14 para E1277

Equação	EMA	RQM	SQER	CG
Equações ajustadas com lote de dados 1 e aplicadas no lote de dados 2				
(1) $\hat{h} = 26,150 - 110,98/d$	0,36530	0,99139	0,21213	5º
(4) $\hat{h} = \exp[3,473-(7,660/d)]$	0,37090	1,01604	0,21856	6º
(7) $\hat{h} = d^2/[2,375+0,043(d^2)]$	0,30302	0,95917	0,19740	1º
(9) $\hat{h} = 1/[0,485-(5,702/d)+(34,045/d^2)]^2$	0,31980	1,04666	0,25118	3º
(13) $\hat{h} = 30,567 \exp(-7,104/d)$	0,36716	0,98817	0,20998	4º
(14) $\hat{h} = 16,729[1-\exp(-0,848d)]^{433,1}$	0,23526	1,03813	0,24859	2º
Equações ajustadas com lote de dados 2 e aplicadas no lote de dados 1				
(1) $\hat{h} = 23,20 - 84,62/d$	0,32006	1,00833	0,20096	
(4) $\hat{h} = \exp[3,270-(5,797/d)]$	0,30213	1,00734	0,20152	
(7) $\hat{h} = d^2/[1,924+0,048(d^2)]$	0,18171	0,97440	0,19744	
(9) $\hat{h} = 1/[0,244-(0,457/d)+(6,131/d^2)]^2$	0,24512	0,97435	0,19245	
(13) $\hat{h} = 25,966 \exp(-5,641/d)$	0,26862	1,00184	0,20236	
(14) $\hat{h} = 17,380[1-\exp(-0,371d)]^{6,36}$	0,25464	0,97300	0,19143	

EMA: erro médio absoluto; RQM: raiz do quadrado médio; SQER: soma do quadrado do erro médio; CG: classificação geral do ranking ponderado para cada modelo, sendo que a menor posição de CG representa a melhor equação a ser utilizada.

Na Figura 6 é apresentada a análise da distribuição de resíduos para os modelos locais em que se aplicou a técnica da validação cruzada. Nota-se que os modelos 7 e 14 foram melhores, apresentando tendenciosidades similares entre eles, com maior variabilidade para árvores com DAP inferior a 10 cm. No entanto, Apesar dos pontos apresentarem dispersão muito semelhante entre os modelos, o 14 se mostra menos tendencioso na validação cruzada para os dois lotes de dados. Nota-se que a altura estimada para árvores superiores a 14 m possui menor erro, variando de ± 2 m seguindo uma linha de regressão relativamente mais homogênea (Figura 6).

Como ressaltado por Batista et al. (2001), modelos não lineares tendem a ter desempenho melhor quando comparados a modelos lineares, além do que, quando sua formulação possui característica biomatemática, esta superioridade é ainda maior. Diante disso, o modelo 14 constata-se ser o modelo local mais apropriado para caracterizar a relação hipsométrica em plantios do clone E1277 localizados no Sul do Tocantins.

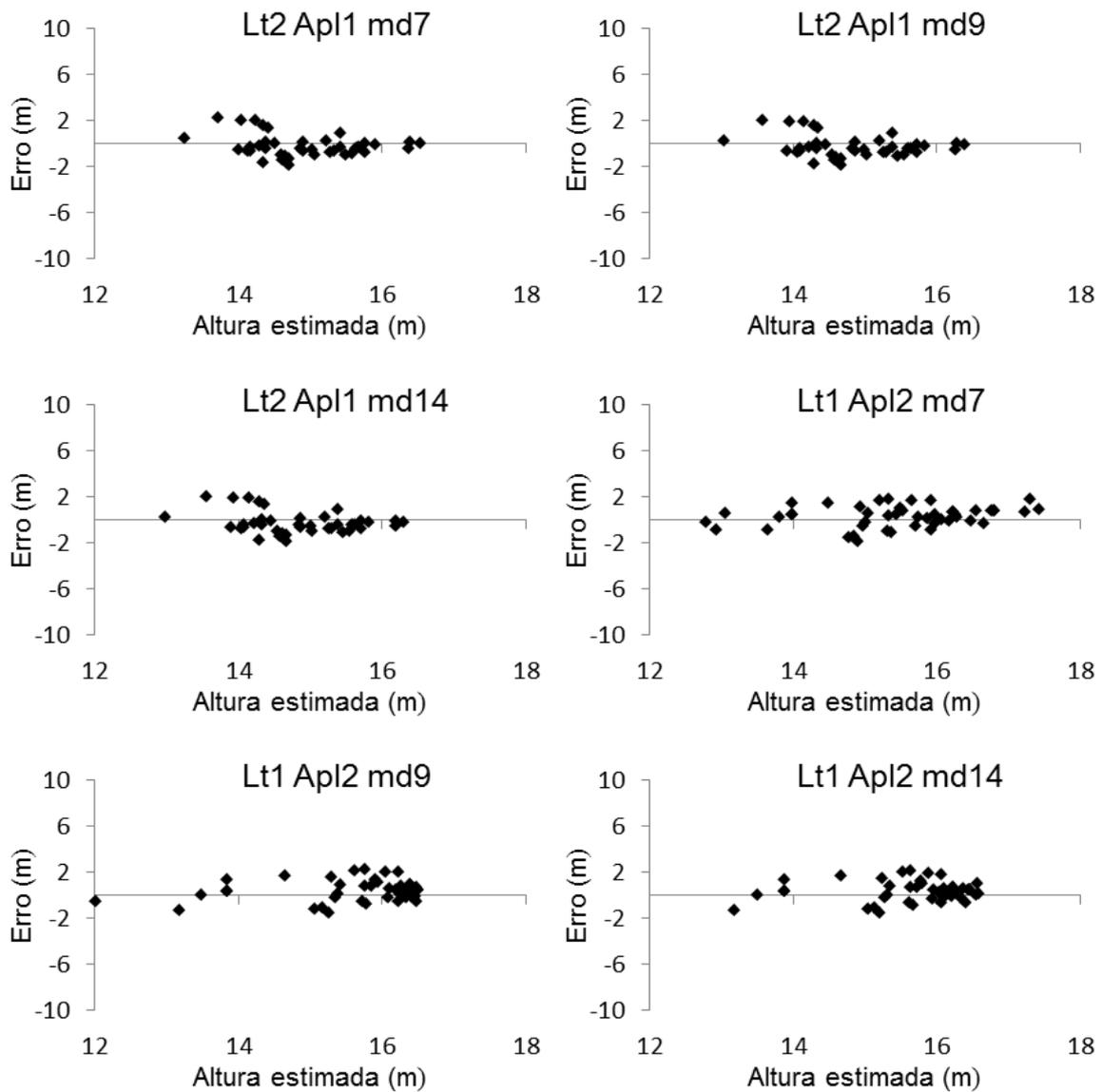


Figura 6: Análise da distribuição de resíduos dos melhores modelos locais selecionados para os lotes 1 e 2 aplicando-se a técnica de validação cruzada.

3.2. Modelos hipsométricos regionais

Utilizando os dois sub-conjuntos de dados de parcelas (Lotes 1 e 2), avaliou-se a precisão do ajuste dos 13 modelos hipsométricos regionais em cada lote de dados, cujos resultados dos oito melhores são apresentados na Tabela 12.

Como observado na tabela 12, dos 14 modelos apresentados na Tabela 9, os mais precisos foram: 1, 2, 3, 5, 6, 10, 13 e 14 por apresentarem o melhor ranking obtido pela classificação dos resultados de R^2_{aj} e S_{yx} . Tais estatísticas apresentaram valores entre $\pm 0,4945$ à $\pm 0,8577$ para R^2_{aj} e entre $\pm 3,40\%$ à $\pm 5,94\%$ para s_{yx} . Nota-

se que são valores bem próximos aos já encontrados em plantios florestais, tais como: Batista et al. (2001), Barros et al. (2002), Bartoszeck et al. (2004).

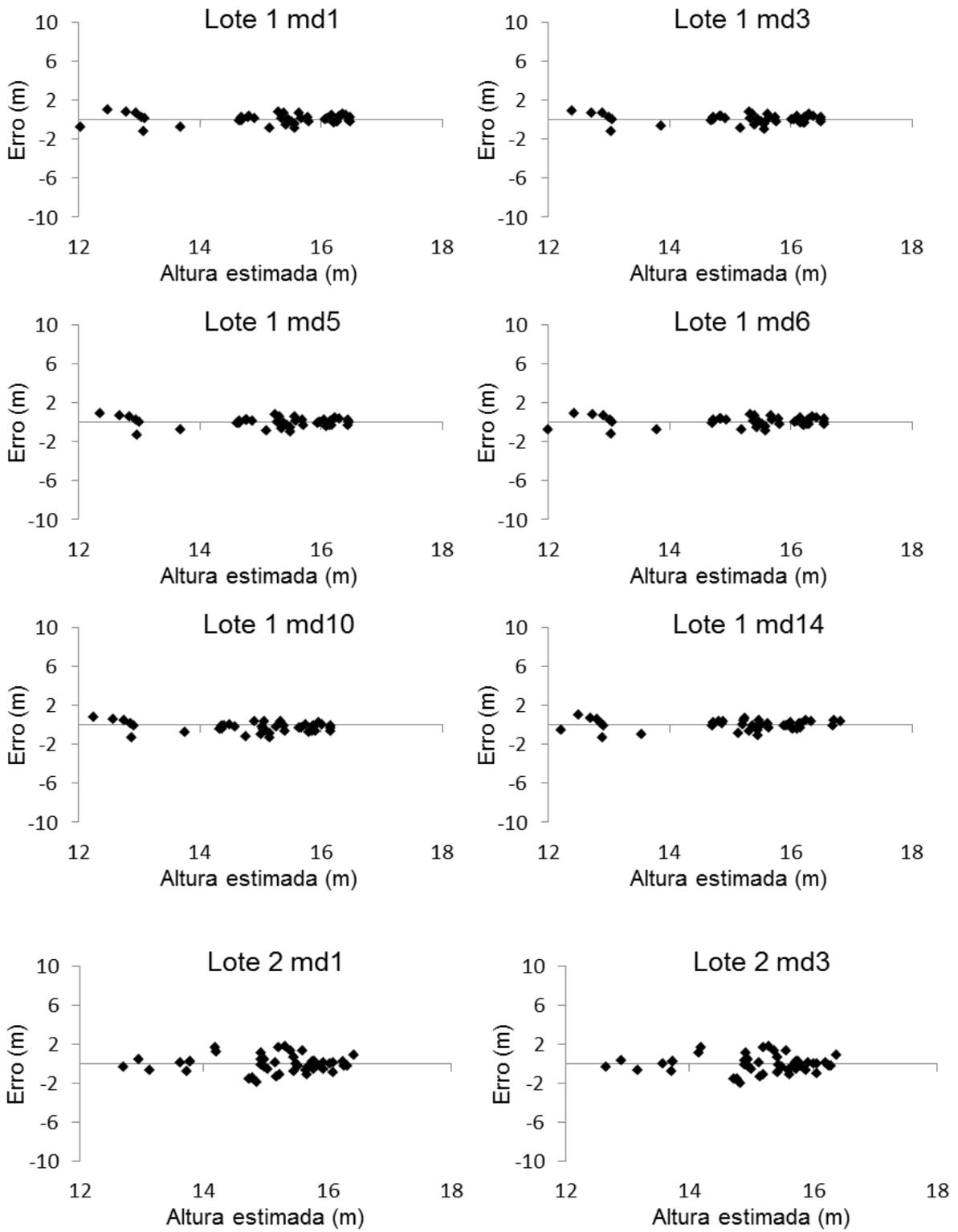
Tabela 12: Resultados estatísticos dos oito melhores modelos hipsométricos regionais para um povoamento de eucalipto E1277 localizado no Sul do Tocantins

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	R_{aj}	syx (m)	syx (%)	CG
Lotes de dados 1									
md1	-10,982	3,531	-0,191	0,064	-	0,851	0,5247	3,48	4°
md2	-16,26	3,662	-0,149	0,619	4,16E-05	0,8536	0,5201	3,45	5°
md3	-16,294	3,672	-0,149	0,62	-	0,8577	0,5128	3,40	2°
md5	6,769	-0,966	-20,659	-1,617	1,607	0,8503	0,5259	3,48	3°
md6	-2,712	0,641	-0,009	-0,201	-2,469	0,8505	0,5255	3,48	2°
md10	-0,525	0,295	-0,01	-0,003	-	0,8547	0,518	3,43	1°
md13	2,973	0,665	0,132	0,054	-	0,8467	0,5321	3,52	6°
md14	1,277	-3,956	0,666	-	-	0,8497	0,5272	3,49	4°
Lotes de dados 2									
md1	-6,631	3,162	-0,13	0,018	-	0,4986	0,8917	5,88	
md2	-5,186	3,119	-0,114	0,137	-0,002	0,4945	0,8954	5,91	
md3	-8,955	3,32	-0,124	0,187	-	0,5001	0,9009	5,94	
md5	4,276	-1,852	-14,28	-0,904	1,795	0,5016	0,889	5,86	
md6	-2,299	-0,058	0,884	-0,141	-2,835	0,5031	0,8876	5,85	
md10	-0,29	0,268	-0,007	-0,005	-	0,5149	0,877	5,78	
md13	16,02	0,092	0,785	-0,393	-	0,5006	0,8943	5,89	
md14	2,576	-5,284	0,232	-	-	0,5022	0,8889	5,86	

β_0 , β_1 , β_2 = parâmetros dos modelos; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; Syx= erro padrão da estimativa; CG: Classificação geral do ranking ponderado para cada modelo, sendo- que o menor valor de CG representa a melhor equação a ser utilizada.

Em se tratando de equações hipsométricas, o R^2_{aj} pode ser considerado satisfatório para o primeiro lote e mediano para o segundo lote, assim como afirma Scolforo (1998), raramente esta estatística passa de 0,80 na relação hipsométrica. Barros et al. (2002) obteve resultados semelhantes, onde 14 modelos testados tiveram R^2_{aj} , variando de $\pm 0,5$ a $\pm 0,6$ e syx inferior a 7%.

O modelo 10 foi o melhor de acordo com os critérios apresentados na Tabela 13, com R^2_{aj} de $\pm 0,8547$ e Syx de 3,43% para o lote 1 e R^2_{aj} de $\pm 0,5149$ e Syx de 5,78% para o lote 2. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Ribeiro et al. (2010) na comparação de modelos hipsométricos para *Eucalyptus* sp. no Estado da Bahia. Já, os modelos 3 e 6 aparecem em segundo lugar no ranking dos melhores, apresentando R^2_{aj} variando de $\pm 0,5001$ á $\pm 0,8577$ e Syx variando de 3,4 á 5,9%. A confirmação do melhor modelo obteve-se através da análise gráfica residual (Figura 7).



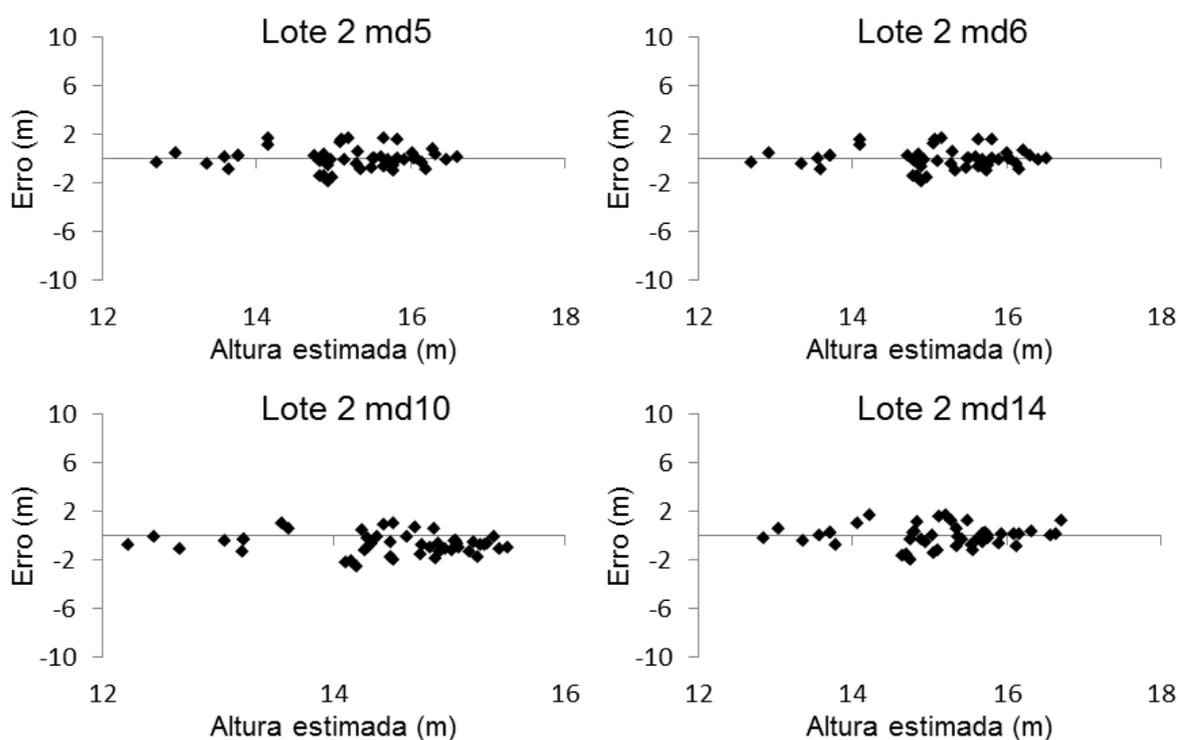


Figura 7: Análise da distribuição de resíduos dos melhores modelos regionais selecionados para os lotes 1 e 2.

Observando os gráficos residuais para os seis melhores modelos regionais (Figura 7) nota-se que o modelo 3, se mostrou melhor quando comparado ao 10, o qual apresenta uma superestimação da altura, sendo, portanto, inadequado para caracterizar a relação hipsométrica, visto que o modelo 3 apresenta melhor dispersão na análise gráfica e pouca diferença para os resultados dos critérios estatísticos apresentados na Tabela 12.

Já, o modelo 6, se mostra semelhante ao modelo 3 na análise gráfica do lote 1, porém, no lote 2, nota-se uma maior dispersão dos pontos ao longo da linha de regressão, optando-se pelo modelo 3 como o melhor. Aliado a esta análise, aplicou-se a técnica de validação cruzada, para os oito modelos com base nas estatísticas de EMA, RQM e SQER (Tabela 13).

No critério EMA, o modelo 10 apresentou o melhor resultado para o lote 1, com $\pm 0,172$ m, porém, o pior resultado para o lote 2, com $\pm 0,861$ m, essa discrepância nos resultados se deve a diferença das bases de dados onde aplicou-se a validação cruzada. Para a estatística RQM, os resultados variaram de $\pm 0,80063$ para o modelo 3 no lote 2, a $\pm 1,11911$ para o modelo 10 no lote 2, demonstrando ser o modelo 3 o melhor neste critério, e confirmando a instabilidade do modelo 10 nos

resultados para o lote 2. Já, na estatística SQER, os resultados variaram de $\pm 0,126$ para o modelo 14 no lote 2, à $\pm 0,268$ para o modelo 6 no lote 1. O melhor modelo neste critério foi o modelo 14, que apresentou o menor resultado.

Tabela 13: Valores dos critérios de desempenho dos modelos hipsométricos regionais 1, 2, 3, 5, 6, 10, 13 e 14 para E1277 no sul do Tocantins

Equação	EM	RQM	SQER	CG
Equações ajustadas com lote de dados 1 e aplicadas no lote de dados 2				
(1) $\hat{h} = -10,982 + 3,531(d) - 0,191(d^2) + 0,064(dhd)$	0,51298	1,06110	0,26612	3º
(2) $\hat{h} = -16,26 + 3,662(d) - 0,149(d^2) + 0,6191(hd) + 0,00004159(n)$	0,46602	1,02834	0,25047	4º
(3) $\hat{h} = -16,294 + 3,672(d) - 0,149(d^2) + 0,62(hd)$	0,50517	1,04633	0,25974	2º
(5) $\hat{h} = \exp[6,769 - 0,966\ln(hd) - 20,659(1/d) - 1,617\ln(dqd) + 1,607\ln(dqhd)]$	0,43620	1,01430	0,24233	1º
(6) $\hat{h} = \exp[-2,712 + 0,641\ln(hd) - 0,009\ln(dq/d) - 0,201(1/d^{(-1)}) - 2,469\ln(1/d)]$	0,53914	1,06333	0,26783	6º
(10) $\hat{h} = hd[-0,525 + 0,295(d) - 0,01(d^2) - 0,003(dhd)]$	0,17156	0,89657	0,18174	4º
(13) $\hat{h} = 2,973 \cdot hd^{0,665} [1 - \exp(-0,132(n/dq)^{0,054} \cdot d)]$	0,51650	1,05100	0,26043	5º
(14) $h = \exp[1,277 - 3,956(1/d) + 0,666 \cdot \ln(hd)]$	0,49284	1,04143	0,25687	1º
Equações ajustadas com lote de dados 2 e aplicadas no lote de dados 1				
(1) $\hat{h} = -6,631 + 3,162(d) - 0,130(d^2) + 0,018(dhd)$	0,25578	0,80440	0,12926	
(2) $\hat{h} = -5,186 + 3,119(d) - 0,114(d^2) + 0,137(hd) - 0,002(n)$	0,40785	0,97381	0,18631	
(3) $\hat{h} = -8,955 + 3,32(d) - 0,124(d^2) + 0,187(hd)$	0,29100	0,80063	0,12648	
(5) $\hat{h} = \exp[4,276 - 1,852\ln(hd) - 14,28(1/d) - 0,904\ln(dqd) + 1,795\ln(dqhd)]$	0,46518	0,94366	0,16446	
(6) $\hat{h} = \exp[-2,299 - 0,058\ln(hd) + 0,884\ln(dq/d) - 0,141(1/d^{(-1)}) - 2,835\ln(1/d)]$	0,49132	0,95685	0,16981	
(10) $\hat{h} = hd[-0,29 + 0,268(d) - 0,007(d^2) - 0,005(dhd)]$	0,86138	1,11911	0,24958	
(13) $\hat{h} = 16,02 \cdot hd^{0,092} [1 - \exp(-0,785(n/dq)^{-0,393} \cdot d)]$	0,25790	0,97100	0,18640	
(14) $h = \exp[2,576 - 5,284(1/d) + 0,232 \cdot \ln(hd)]$	0,38503	0,82963	0,12626	

EMA: erro médio absoluto; RQM: raiz do quadrado médio; SQER: soma do quadrado do erro médio; CG: classificação geral do ranking ponderado para cada modelo, sendo- que a menor posição de CG representa a melhor equação a ser utilizada.

Para a obtenção do melhor modelo no conjunto destes critérios analisados foi realizada a atribuição de notas aos resultados de cada estatística, gerando uma classificação final para cada modelo. Os modelos que ocupam a primeira posição na classificação geral foram o 5 e o 14, seguidos do modelo 3 que obteve o segundo lugar. Como complemento a tal análise, considerou-se visualizar graficamente os resíduos dos três melhores modelos (Figura 8).

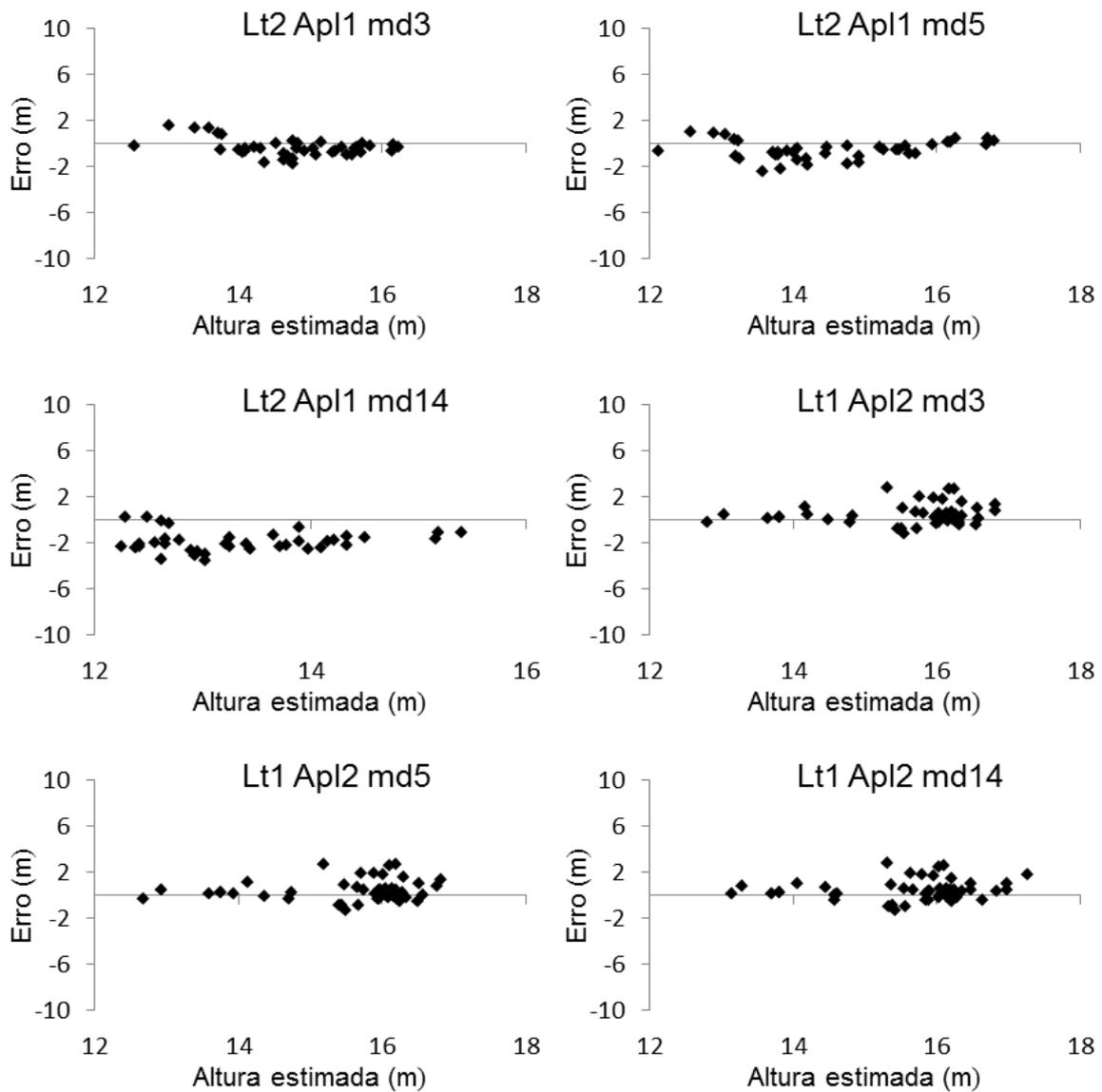


Figura 8: Análise da distribuição de resíduos dos três melhores modelos regionais aplicando-se a técnica de validação cruzada.

Através da análise gráfica dos três melhores modelos regionais selecionados (Figura 8), observa-se que o modelo 3 apresenta dispersão mais homogênea ao longo da linha de regressão da estimativa, principalmente na altura estimada para árvores acima de 14 metros. O modelo 5 se mostra muito semelhante ao 3 no Lt1 Apl2, porém, com pontos mais dispersos para árvores com altura estimada maior que 14 metros, e superestimando de forma mais acentuada árvores com DAP acima de 9 cm.

O modelo 14 não apresentou diferença expressiva na análise gráfica apresentada na Figura 8 comparando-se ao modelo 3 no Lt1 Apl2, porém, no Lt2 Apl1, este superestimou de forma proeminente árvores com altura acima de 14

metros e DAP maior que 9 cm, demonstrando não ser adequado para caracterizar o povoamento, mesmo tendo obtido a primeira posição nas estatísticas de acurácia.

Com as análises de precisão e acuracidade, em conjunto com as análises gráficas residuais dos modelos, pôde-se evidenciar que o modelo regional 3 se mostra mais adequado para caracterizar a relação hipsométrica de *Eucalyptus* no Tocantins. Diante disso, juntamente com o modelo local 14, se deu continuidade a análise desses dois modelos com as mesmas bases de dados utilizadas no capítulo 1.

3.3. Ajuste dos melhores modelos utilizando os dados do capítulo 1

O melhor modelo local e regional deste capítulo foi submetido a uma nova análise, desta vez utilizando o banco de dados de ajuste do capítulo 1, contendo as cinco primeiras árvores de cada parcela. Os resultados para os critérios de precisão estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Estatísticas dos melhores modelos do capítulo 2 utilizando o lote de dados de ajuste do capítulo 1

Modelos	β_0	β_1	β_2	β_3	R^2_{aj}	syx(%)
Local	17,4215	0,3908	7,7271	-	0,565	5,03
Regional	-10,6690	3,1705	-0,1222	0,3880	0,677	4,33

β_0 , β_1 , β_2 = parâmetros dos modelos; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; Syx(%)= erro padrão da estimativa.

Para o coeficiente de determinação ajustado se tem valores relativamente baixos, porém, na média para a modelagem hipsométrica (BATISTA et al., 2001, BARROS et al., 2002, MACHADO et al., 1994), com $\pm 0,562$ para o modelo biomatemático local, e $\pm 0,677$ para o modelo regional, sendo este o melhor neste quesito.

Analisando o erro padrão da estimativa, os resultados foram de $\pm 4,33\%$ para o modelo regional e $\pm 5,03\%$ para o modelo local, mostrando ser o modelo regional o melhor neste critério. Analisando a Figura 9, tem-se que o modelo regional se sobressai ao local, com menor variação dos dados e pontos mais próximos ao longo da linha de regressão.

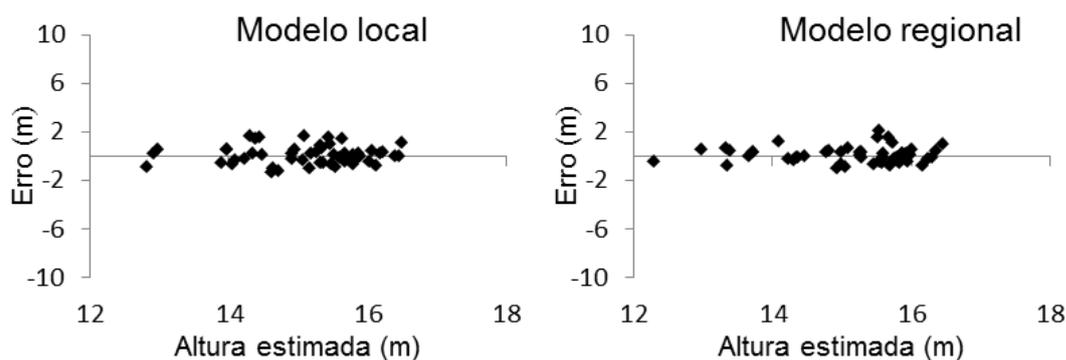


Figura 9: Análise da distribuição de resíduos dos modelos local e regional do capítulo 02.

3.4. Teste de validação

Procedeu-se a validação com o melhor modelo local e regional do capítulo 2, sendo utilizado para tal análise o banco de dados de aplicação do capítulo 1, contendo três árvores de cada parcela. Os resultados de ambos os capítulos foram comparados entre si, e estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Resultados dos critérios de acurácia obtidos das equações local e regional do capítulo 02 e capítulo 01 para o conjunto de dados do lote de aplicação

	Local cap 02	Regional cap 02	Local cap 01	Regional cap 01
R ²	0,464	0,857	0,644	0,837
SQRR	0,0062	0,0003	0,0012	0,0003
RQEM	1,1067	0,5723	0,9000	0,6100
EMP	0,0100	0,0000	2,8500	1,1900

R²= coeficiente de determinação da predição; SQRR: soma de quadrados do resíduo relativo; RQEM: raiz quadrada do erro médio; EMP: erro médio percentual; Local cap 02= modelo local selecionado no capítulo 02; regional cap 02= modelo regional selecionado no capítulo 02; local cap 01= opção selecionada do modelo local no capítulo 01; regional cap 01= opção selecionada do modelo regional para no capítulo 01.

Observando os resultados para o capítulo 2, nota-se que o modelo regional obteve melhor desempenho em todos os critérios analisados, com 0% de erro médio percentual (EMP), e coeficiente de determinação da predição (R²) com 0,857 contra 0,464 do modelo local. Ao comparar os resultados do capítulo 2 com os já realizados no capítulo 1, evidencia-se que para o R² os modelos regionais se mostram superiores nos dois estudos, com pouca diferença entre os mesmos, (0,857 para o cap. 02, e 0,837 para o cap. 01). No critério SQRR, também há superioridade para os modelos regionais, pois apresentam resultado menor, indicando menor valor residual para os mesmos, ambos com o mesmo resultado.

Para a estatística RQEM, ocorre o mesmo que os critérios anteriores, com superioridade para os modelos regionais, os quais apresentaram o mesmo resultado, de 0,003. No quesito EMP, o modelo regional do cap. 02, que é o modelo parabólico, se sobrepõe aos demais, com 0% de erro médio, indicando ser o melhor neste quesito. Assim, comparando-se apenas os dois melhores modelos, que foram os dois regionais, tem-se que o modelo parabólico analisado no capítulo 02 apresentou de maneira geral nos critérios de estabilidade os melhores resultados. Fato este, comprovado pela análise gráfica dos modelos local e regional do capítulo 2 (Figura 10), onde o modelo regional apresentou maior homogeneidade, indicando melhor ajuste.

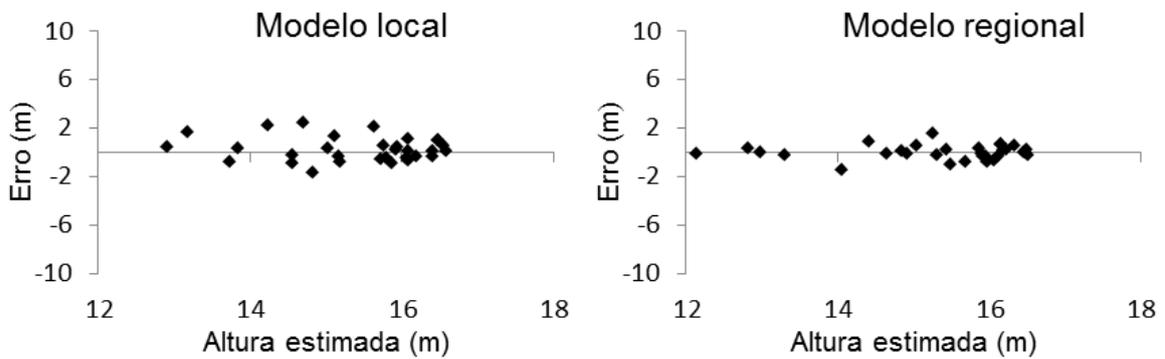


Figura 10: Análise da distribuição de resíduos dos melhores modelos do capítulo 2 aplicando-se a técnica de validação cruzada.

4. CONCLUSÕES

Na análise dos modelos hipsométricos locais, obteve-se a confirmação da superioridade do modelo 14 de Chapman-Richards através da análise da distribuição de resíduos. Para os modelos regionais, houve superioridade do modelo parabólico 3, também confirmada através da análise gráfica residual. Já, entre o modelo local e regional selecionados, houve superioridade do modelo regional.

Concluiu-se, ao comparar os modelos selecionados no capítulo 01 com os do capítulo 02, que os modelos regionais obtiveram melhores resultados, tanto para os critérios de precisão quanto de acuracidade. Entre estes dois modelos regionais, houve superioridade do modelo regional parabólico analisado no capítulo 02, sendo, portanto, o mais indicado para eucalipto clonal no Sul do Tocantins.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O.; SILVA, H. F.; BARRETO, P. A. B.; NOVAES, A. B. Seleção de modelos hipsométricos para quatro espécies florestais nativas em plantio misto no Planalto da Conquista na Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.1-13, 2011.

BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 45, p. 3-28, 2002.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, vol. 32, n. 2, p. 189-204, 2002.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 517-533, 2004.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. **Scientia Forestalis**, n. 60, p. 143-163, 2001.

CARDOSO, D. J.; MACHADO, S. A.; ROSOU, N. C.; EMERENCIANO, D. B. Avaliação da influência dos fatores idade e sítio na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e Sudoeste do estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 19, n. 1, p. 96 - 115, 1989.

DONADONI, A. X.; PELISSARI, A. L.; DRESCHEN, R.; ROSA, G. D. Relação hipsométrica para *Pinnus caribea* var. *hondurensis* e *Pinnus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. **Ciência rural**, v. 40, n. 12, p. 2499-2504, 2010.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L. f. **Acta Amazonica**, v. 36, p. 465-482, 2006.

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

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; JÚNIOR, F. W. A.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 11, p. 167-188, 2001.

LANSSANOVA, L. R.; UBIALLI, J. A.; ARCE, J. A.; PELISSARI, A. L.; FAVALESSA, C. M. C.; DRESCHER, R. Avaliação de funções de afilamento para a estimativa de diâmetro de espécies florestais comerciais do bioma amazônico mato-grossense. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 215-224, 2013.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÉO, S. J. Comportamento da Relação Hipsométrica de *Araucaria Angustifolia* no Capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5-16, 2008.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2ª ed. Guarapuava: UNICENTRO. 2014. 316p.

NETO, T. P. P.; **Comparação de modelos lineares e não lineares em relações hipsométricas para clones de *Eucalyptus spp.*, no Pólo Gesseiro de Araripe-PE**. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2012.

NOGUEIRA, G. S. Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. 2003. 132 p. **Tese** (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, p. 173-181, 2011.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* bentham em

povoamentos da região metropolitana de Curitiba/PR, **Floresta**, v. 36, p. 183-199, 2006.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z. Diferentes estratégias de ajuste de modelo hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* spp. In: **Anais do 4º Simpósio Latino-Americano Sobre Manejo Florestal**, UFMS-RS, p.16-22, 2008.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 22-31, 2010.

ROSSI, A. S.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L.f. no município de Monte Dourado, PA: **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 301-307, 2011.

SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; MAESTRE, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. **Cerne**, v. 4, n. 1, p. 100-122, 1998.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3**: relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica. Lavras: ESAL/FAEPE, 292 p, 1993.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2ª ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 2009. 239 p.

SILVA, F.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro, **Scientia Forestalis**, v. 39, p. 367-376, 2011.

SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B.; SOARES, C. P.; SILVA, G. F. Avaliação de um modelo de passo invariante na predição da estrutura de um povoamento de *Eucalyptus* sp. **Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 275-283, 2007.

SOARES, T. S.; SCOLFORO, J. R. S.; FERREIRA S. O.; MELLO, J. M. 2004. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-Mg, v.28, n.6, p.845-854, 2004.

TOME, M.; RIBEIRO, F.; FAIAS, S. Relação hipsométrica geral para *Eucalyptus globulus* Labil em Portugal. **Silva Lusitana**, v. 15, n.1, p. 41- 55, 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O teste de identidade de modelos é de extrema importância para demonstrar a melhor forma de realizar a análise de regressão, evitando o ajuste inadequado de equações hipsométricas. Neste estudo o teste de identidade apontou ser ideal realizar um ajuste por classe, gerando três equações, aumentando dessa forma a precisão do ajuste.

A aplicação de um delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdividas seguido do teste de comparações múltiplas de Dunnet, permitiu que a pesquisa realizada fosse mais concisa, onde foi confirmado o resultado do teste de identidade, indicando que a melhor opção de ajuste foi de uma equação para cada classe separadamente, sendo que o modelo regional se sobressaiu ao local.

Ao comparar os modelos selecionados no capítulo 01 com os do capítulo 02, concluiu-se que os modelos regionais foram os melhores, tanto para os critérios de precisão quanto de acuracidade. Entre os dois modelos regionais comparados, houve superioridade do modelo regional parabólico analisado no capítulo 02.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AZEVEDO, C. P.; MUROYA, K; GARCIA, L. C; LIMA, R. M. B; MOURA, J. B; NEVES, E. J. M. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia Ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo**, n. 39, p.5-29, 1999.

AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O.; SILVA, H. F.; BARRETO, P. A. B.; NOVAES, A. B. Seleção de modelos hipsométricos para quatro espécies florestais nativas em plantio misto no Planalto da Conquista na Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.1-13, 2011.

BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo**, n. 45, p. 3-28, 2002.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, vol. 32, n. 2, p. 189-204, 2002.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 517-533, 2004.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. **Scientia Forestalis**, n. 60, p. 143-163, 2001.

BLAKE, S. T. Four new species of *Eucalyptus*. **Austro baileyana**: 7-9, 1977.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2.ed. ver. E ampl. Viçosa: ed. UFV, 2006.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2013. 605p.

CARDOSO, D. J.; MACHADO, S. A.; ROSOU, N. C.; EMERENCIANO, D. B. Avaliação da influência dos fatores idade e sítio na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e Sudoeste do estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 19, n. 1-2, p. 96 - 115, 1989.

CURTIS, R. O. Height diameter and height diameter age equations for second growth Douglas-fir. **Florest Science**, Washington, v.13, n.4, p.356-375, 1967.

DONADONI, A. X.; PELISSARI, A. L.; DRESCHEN, R.; ROSA, G. D. Relação hipsométrica para *Pinnus caribea* var. *hondurensis* e *Pinnus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. **Ciência rural**, v. 40, n. 12, p. 2499-2504, 2010.

FANG, Z.; BAILEY, R.L. Height-diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 110, p. 315-327, 1998.

FERREIRA, M. **Escolha de espécies de eucalipto**. Circular técnica IPEF, v.47, p.1-30, 1979.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L. f. **Acta Amazonica**, v. 36, p. 465-482, 2006.

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

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; JÚNIOR, F. W. A.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 11, p. 167-188, 2001.

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

LANSSANOVA, L. R.; UBIALLI, J. A.; ARCE, J. A.; PELISSARI, A. L.; FAVALESSA, C. M. C.; DRESCHER, R. Avaliação de funções de afilamento para a estimativa de

diâmetro de espécies florestais comerciais do bioma amazônico mato-grossense. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 215-224, 2013.

LEITE, H. G.; CASTRO, R. V. O.; SILVA, A. L. ; JÚNIOR, C. A. A.; Binoti, D. H. B.; CASTRO, A. F. N. M.; BINOTI, M. L. M. S. Classificação da capacidade produtiva de povoamentos de eucalipto utilizando diâmetro dominante. **Silva Lusitana**, v. 19, p. 181-195, 2011.

LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, E. B.; MACHADO, S. A. Equações para estimativa de biomassa de espécies de *Prosopis* no semi-árido brasileiro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 32/33, p. 67-79, 1996.

MACHADO, S. A.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JUNIOR, V. G. Teste de modelos matemáticos para o ajuste da relação hipsométrica em diferentes sítios e idades para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. v.2, p.553-556.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TEO, S. J. Comportamento da Relação Hipsométrica de *Araucaria Angustifolia* no Capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5-16, 2008.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2ª ed. Guarapuava: UNICENTRO. 2014. 316p.

MARTINS, F.B.; SOARES, C.P.B.; LEITE, H.S.; SOUZA, A.L. de; CASTRO, R.V.O. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1089-1098, 2011.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **Eucalypt cultivation in Brazil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112p.

NETO, T. P. P.; **Comparação de modelos lineares e não lineares em relações hipsométricas para clones de *Eucalyptus spp.*, no Pólo Gesseiro de Araripe-PE**. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2012.

NOGUEIRA, G. S. Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus sp.* e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. 2003. 132 p. **Tese** (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, F.G.R.B.; SOUSA, G.T.O.; AZEVEDO, G.B.; BARRETO, P.A.B. Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, vol. 7, n.13. p.331-338, 2011.

PELLISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, p. 173-181, 2011.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* bentham em povoamentos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, v. 36, p. 183-199, 2006.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO A. J.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 339-349, 2008.

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**, v. 22, p. 33-45, 2004.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.3, p.315-320, 2010.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z. Diferentes estratégias de ajuste de modelo hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* spp. In: **Anais do 4º Simpósio Latino-Americano Sobre Manejo Florestal**, UFMS-RS, 2008. p.16-22.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 22-31, 2010.

ROSSI, A. S.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L.f. no município de Monte Dourado, PA: **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 301-307, 2011.

RUFINO, R. F., MIGUEL, E. P., SANTOS, G. A., SANTOS, T. E. B., SOUZA, F. Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucalipto conduzido sobre o sistema de rebrota. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.6, n.10, p. 1-10, 2010.

SANTOS, T.C.; MURAKAMI, A.E.; OLIVEIRA, C.A.L.; COSTA, P.D. Desenvolvimento corporal e testicular em machos de codornas de corte e de postura de 25 a 360 dias. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.32, p.1205-1212, 2012.

SANTOS, M. J. F.; ANDRADE, V. C. L.; SOUZA, P. B. Amostragem relativa de dados da relação hipsométrica de cerrado Tocantinense. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 4, p. 633-645, 2016.

SARMENTO, J.L.R.; REZAZZI, A.J.; SOUZA, W.H. de; TORRES, R. de A.; BREDA, F.C.; MENEZES, G.R. de O. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.435-442, 2006.

SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; MAESTRE, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. **Cerne**, v. 4, n. 1, p. 100-122, 1998.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3**: relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica. Lavras: ESAL/FAEPE, 292 p, 1993.

SCOLFORO, J. R. S. Técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira. Lavras: **ESAL: FAEPE**, 1997. 292 p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2ª ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 2009. 239 p.

SILVA, F.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro, **Scientia Forestalis**, v. 39, p. 367-376, 2011.

SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B.; SOARES, C. P.; SILVA, G. F. Avaliação de um modelo de passo invariante na predição da estrutura de um povoamento de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 275-283, 2007.

SOARES, T. S.; SCOLFORO, J. R. S.; FERREIRA S. O.; MELLO, J. M. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-Mg, v.28, n.6, p.845-854, 2004.

SOUSA, G.T.O.; AZEVEDO, G.B.; BARRETO, P.A.B.; JÚNIOR, V.C. Relações hipsométricas para *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia. **Scientia Plena**, vol. 9, n. 4.p 1-7, 2013.

SOUZA, A. S.; SANTOS, J. X.; SOUZA, D. V. Modelagem da relação hipsométrica para um povoamento híbrido de eucalipto na Amazônia Brasileira. **Biofix scientific journal**, v.2 n.1, p. 44-53, 2017.

TOME, M.; RIBEIRO, F.; FAIAS, S. Relação hipsométrica geral para *Eucalyptus globulus* Labil em Portugal. **Silva Lusitana**, v. 15, n.1, p. 41- 55, 2007.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, MG, v. 7, n. 2, p. 104–114, 2001.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; CHAVES, A. G. S.; SILVA, R. S.; SOUZA, H. S.; MEDEIROS, R. A.; MOTTA, A. S.; SILVA, F. T. Identidade em Modelos Hipsométricos para *Tectona grandis* com Diferentes Espaçamentos em Cáceres-MT. **Nativa**, v. 3, p. 44-49, 2015.