

**Verificação da Identidade de
Modelos Hipsométricos em
Diversos Arranjos de Sistema
Agrossilvipastoril**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 310

Verificação da Identidade de Modelos Hipsométricos em Diversos Arranjos de Sistema Agrossilvipastoril

*Sebastião Pires de Moraes Neto
Karina Pulrolnik
Lourival Vilela
Priscila Oliveira
Robélio Leandro Marchão
Roberto Guimarães Júnior
Giovana Alcantara Maciel*

Exemplar desta publicação pode ser baixado gratuitamente no link:
http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/versaomodelo/html/2012/bolpd/bold_310.shtml

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Claudio Takao Karia*

Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*

Secretária: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbues*

Equipe de revisão: *Francisca Elijani do Nascimento*

Jussara Flores de Oliveira Arbues

Normalização bibliográfica: *Shirley da Luz Soares Araújo*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Foto da capa: *Sebastião Pires de Moraes Neto*

Impressão e acabamento: *Alexandre Moreira Veloso*

1ª edição

1ª impressão (2012): tiragem 100 exemplares

Edição online (2012)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Cerrados

V588 Verificação da identidade de modelos hipsométricos em diversos arranjos de sistema agrossilvipastoril / Sebastião Pires de Moraes Neto... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2012.

23 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X ; 310).

1. Eucalipto - igualdade de parâmetros. 2. Modelo logístico hipsométrico. I. Moraes Neto, Sebastião Pires de. II. Série.

511.18 - CDD-21

© Embrapa 2012

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão	13
Conclusões.....	22
Referências	22

Verificação da Identidade de Modelos Hipsométricos em Diversos Arranjos de Sistema Agrossilvipastoril

Sebastião Pires de Moraes Neto¹; Karina Pulrolnik²; Lourival Vilela³; Priscila Oliveira⁴; Robélio Leandro Marchão⁵; Roberto Guimarães Júnior⁶; Giovana Alcantara Maciel⁷

Resumo

Este trabalho teve como objetivo verificar a identidade de modelos logísticos hipsométricos de arranjos espaciais de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. Foram estudados seis modelos em 3 arranjos espaciais, sendo 1 arranjo para *Eucalyptus cloeziana* (faixas de 7 linhas e distância entre faixas de 22 m) e 2 arranjos para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (faixas de 2 linhas e distância entre faixas de 12 m e faixas de 2 linhas e distância entre faixas de 22 m), aos 18 e 30 meses do plantio. Dos seis modelos estudados, somente no caso de povoamentos do híbrido, aos 18 meses do plantio nos dois tipos de arranjos, os modelos logísticos hipsométricos mostraram-se idênticos estatisticamente. Nos outros cinco casos, não houve situações de identidade de modelos.

Termos para indexação: igualdade de parâmetros, verossimilhança, modelo logístico hipsométrico.

¹ Engenheiro-florestal, D.Sc. em Ciências Biológicas, pesquisador da Embrapa Cerrados, sebastiao.moraes@embrapa.br

² Engenheira-florestal, D.Sc. em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Cerrados, karina.pulrolnik@embrapa.br

³ Engenheiro-agrônomo, M.Sc. em Agronomia, pesquisador da Embrapa Cerrados, lourival.vilela@embrapa.br

⁴ Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Cerrados, priscila.oliveira@embrapa.br

⁵ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Agronomia, pesquisador da Embrapa Cerrados, robelio.marchao@embrapa.br

⁶ Médico-veterinário, D.Sc. em Ciência Animal, pesquisador da Embrapa Cerrados, roberto.guimaraes-junior@embrapa.br

⁷ Zootecnista, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Cerrados, giovana.maciel@embrapa.br

Verification of Identity of Hypsometric Models in Various Arrangements of Agricultural-Forestry-Pasture System

Abstract

This study aimed to verify the identity of hypsometric logistic models in three spatial arrangements in agricultural-forestry-pasture system. Were studied six modes in three spatial arrangements, one arrangement for Eucalyptus cloeziana (bands of 7 rows and distance between bands of 22 m) and two arrangements for the hybrid Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis (bands of 2 lines and distance between bands of 12 m and bands of 2 lines and distance between bands of 22 m) at 18 and 30 months after planting. From six models studied, it was observed that only in the case of the hybrid stands at 18 months after planting in the two types of arrangements, the hypsometric logistic models were identical statistically. In the other five cases, there weren't situations of identity of models.

Index terms: equality of parameters, likelywood, hypsometric logistic model.

Introdução

A análise de regressão, com modelo linear ou não linear, é uma técnica potencialmente útil na análise de dados, tendo grande aplicação nas mais diversas áreas do conhecimento. Entre os possíveis usos da análise de regressão no setor florestal, pode-se citar as curvas de crescimento em função do tempo, incluindo os índices de sítios, e estimativas de volume e altura, em determinada idade do povoamento. Em geral, os modelos com mais aceitação são os que representam com maior fidelidade o processo biológico focado. Os modelos não lineares normalmente se enquadram nesse perfil, podendo-se citar os modelos de potência, exponencial, hiperbólico e logístico como exemplos. Em relação ao eucalipto, e considerando modelos hipsométricos, trabalhos de Batista et al. (2001), Calegario et al. (2005), Guimarães et al. (2009) e Moraes Neto et al. (2010) mostraram que o modelo logístico foi eficiente. Contudo, a relação hipsométrica não possui uma afinidade biológica bem definida, assim como altura e idade ou diâmetro e idade, e há uma grande variação em altura para o mesmo diâmetro em locais e idades diferentes (CHAPMAN; MEYER, 1949).

Os modelos hipsométrico não lineares que possuem melhor fundamentação biológica para sua forma funcional, em geral, apresentam desempenho superior aos modelos lineares, ou seja, apresentam maior precisão nas estimativas em altura da árvore e, por conseguinte, na estimativa de volume. O modelo logístico (não linear) foi originalmente proposto para modelar o crescimento em populações humanas e mais tarde tornou-se popular para estudar o crescimento de plantas (ZEIDE, 1993).

O modelo logístico utilizado neste trabalho foi:

$$H = \frac{a_0}{(1 + b_0 e^{-c_0 dap})}$$

Em que:

H = altura total.

dap = diâmetro a altura do peito.

e = 2,7183.

a_0 = o valor máximo esperado para a resposta, ou assíntota.

b_0 = relacionado com o intercepto.

c_0 = relacionado com a taxa média de crescimento da curva.

Contudo, dentro de um contexto experimental, especificamente de um sistema agrossilvipastoril com espaçamento entre renques para o mesmo híbrido (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) distintos, junto a outra espécie de eucalipto (*Eucalyptus cloeziana*) com arranjo diferente de renque em relação ao híbrido, e definido que o modelo logístico é o melhor para a relação hipsométrica em cada espécie e arranjo, surgem as seguintes questões: é possível ter uma equação hipsométrica única para as espécies e arranjos? Caso negativo, é possível utilizar uma única equação para a mesma espécie com arranjo diferente? Ou será necessária uma equação distinta para cada combinação de arranjo e espécie? Para esse tipo de questionamento é necessário saber se os coeficientes do modelo logístico são iguais ou diferentes, dependendo do caso focalizado.

A identidade de modelos de regressão não linear e a igualdade de qualquer subconjunto de parâmetros podem ser verificados por meio do teste da razão de verossimilhança (REGAZZI, 2003).

Este trabalho teve como objetivo verificar a igualdade de coeficientes e a identidade de modelos logísticos hipsométricos em vários arranjos de sistema agrossilvipastoril implantados no Cerrado do Distrito Federal, aos 18 e 30 meses do plantio.

Material e Métodos

O experimento está sendo conduzido na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF. O experimento de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) foi implantado em janeiro de 2009 em área anteriormente ocupada por pastagem degradada de *Brachiaria brizantha* (6 anos).

A área experimental está localizada na latitude: 15°36'38.82" S e longitude: 47°42'13.63" W, com altitude de 980 m e precipitação média de 1.100 mm, concentrada nos meses de outubro a abril, temperatura média de 21,7 °C e a classificação climática, segundo Köppen, é Aw. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho, com textura argilosa. As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área do experimento nas camadas de 0 cm a 20 cm e 20 cm a 40 cm de profundidade.

Camada (cm)	pH (H ₂ O)	P mg/L	K mg/L	Al	Ca	Mg	H+Al	T	V	MO
				cmol/dm ³					%	%
0-20	5,55	0,48	67,24	0,14	1,45	0,86	4,41	6,90	35,70	2,86
20-40	5,47	0,64	33,44	0,23	0,96	0,57	4,19	5,81	27,37	2,32

Os tratamentos experimentais foram definidos pelos espaçamentos entre plantas das espécies florestais e entre renques, gerando diferentes populações de plantas das espécies florestais (Tabela 2). A área experimental compreende aproximadamente 20 ha. No ano de 2007, a área recebeu em cobertura, conforme recomendação obtida pela análise química do solo, as doses de 2,0 t/ha de calcário e 800 kg/ha de gesso agrícola. Os tratamentos, parcelas de 1,4 ha, foram distribuídos em blocos ao acaso com três repetições.

Tabela 2. Relação dos tratamentos experimentais (sistemas) em implantação na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Sistema ⁽¹⁾				Espaçamento (m)		Nº de linhas do renque	Densidade (árvores/ha)
Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Entre árvores	Entre renques		
L	L	L	P	-	-	-	sem árvore
L+EU	L+EU	L+EU	P+EU	2x2	22	2	417
L+EU	L+EU	L+EU	P+EU	2x2	12	2	715
L+Ec	L+Ec	L+Ec	P+Ec	2x2	22	7	1.030
L+N	L+N	L+N	P+N	4x4	12	2	313

⁽¹⁾ L = Lavoura de grãos; P = pastagem consorciada; Eu = *Eucalyptus urograndis*; Ec = *Eucalyptus cloeziana*; N = espécies nativas arbóreas.

As mudas produzidas por sementes de espécies nativas e *Eucalyptus cloeziana* foram obtidas do viveiro da Embrapa Cerrados e as mudas de *Eucalyptus urograndis* foram obtidas de viveiro comercial local. Inicialmente, as linhas de plantio foram dessecadas com glifosato e foi realizado o controle do ataque de formigas na área experimental e áreas adjacentes. No plantio, as plantas de eucalipto (*E. cloeziana* e *E. urograndis*) foram adubadas com 150 g de NPK (0-20-20) na cova e as plantas nativas receberam 150 g de NPK (8-20-15 + micro) na cova de plantio. Nas faixas intercalares, entre renques das espécies florestais e no tratamento testemunha, foi cultivado sorgo (plantio direto) no primeiro ano (2009) e soja (plantio direto) no segundo ano (2009-2010). No terceiro ano (2011), foi cultivado uma mistura de leguminosas e introduzido o componente animal, consolidando a implantação do sistema integração lavoura-pecuária-floresta (SILPF).

Para facilidade de identificação dos tratamentos utilizados neste trabalho, fez-se a seguinte padronização:

- Tratamento 2: povoamento de *Eucalyptus urograndis* com renques de 2 linhas e espaçamento entre renques de 22 m.
- Tratamento 4: povoamento de *Eucalyptus urograndis* com renques de 2 linhas e espaçamento entre renques de 12 m.
- Tratamento 5: povoamento de *Eucalyptus cloeziana* com renques de 7 linhas e espaçamento entre renques de 22 m.

A verificação da igualdade de coeficientes e identidade dos modelos logísticos hipsométricos foram realizadas utilizando dois sistemas por vez (citados a seguir), baseando-se em trabalhos de Regazzi (2003) e Regazzi e Silva (2004).

Os grupos (g) testados foram:

- g1) Povoamentos de *Eucalyptus urograndis* – Tratamento 2 aos 18 meses da implantação (sistema 1) com Tratamento 4 aos 18 meses da implantação (sistema 2).

- g2) Povoamento de *Eucalyptus urograndis* – Tratamento 2 aos 18 meses de implantação (sistema 1) com povoamento de *Eucalyptus cloeziana* – Tratamento 5 aos 18 meses da implantação (sistema 3).
- g3) Povoamentos de *Eucalyptus urograndis* – Tratamento 2 aos 30 meses de implantação (sistema 4) com Tratamento 4 aos 30 meses da implantação (sistema 5).
- g4) Povoamento de *Eucalyptus urograndis* – Tratamento 2 aos 18 meses de implantação (sistema 1) com Tratamento 2 aos 30 meses da implantação (sistema 4).
- g5) Povoamento de *Eucalyptus urograndis* – Tratamento 4 aos 18 meses de implantação (sistema 2) com Tratamento 4 aos 30 meses da implantação (sistema 5).
- g6) Povoamento de *Eucalyptus cloeziana* – Tratamento 5 aos 18 meses de implantação (sistema 3) e Tratamento 5 aos 30 meses da implantação (sistema 6).

Como comparou-se somente 2 sistemas por vez, o modelo logístico hipsométrico com variáveis “dummy” ficou assim:

$$H_{ij} = D_1 \left[\frac{a_1}{1 + b_1 \exp(-c_1 dap_{ij})} \right] + D_2 \left[\frac{a_2}{1 + b_2 \exp(-c_2 dap_{ij})} \right] + \epsilon_{ij},$$

com $j = 1, \dots, n_i$, $i = 1, \dots, s$ (s sistemas) $a_i, b_i, c_i > 0$

em que:

H_{ij} = altura observada na j-ésima unidade experimental do i-ésimo sistema (s).

dap_{ij} = diâmetro a altura do peito observada na j-ésima unidade experimental do i-ésimo sistema.

a_i, b_i e c_i = coeficientes a serem determinados.

$$D_i = \begin{cases} 1 & \text{se a observação } H_{ij} \text{ pertence ao sistema } i, \\ 0 & \text{em caso contrário;} \end{cases}$$

$$i = 1, \dots, s.$$

ϵ_{ij} = erro aleatório com as pressuposições usuais, $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

$$\sum_{i=1}^s n_i = n \text{ é o número total de observações.}$$

As hipóteses que serão consideradas são as seguintes:

1. $H_0^{(1)}: a_1 = \dots a_s (=a)$ vs. $H_a^{(1)}$: nem todos a_i são iguais.
2. $H_0^{(2)}: b_1 = \dots b_s (=b)$ vs. $H_a^{(2)}$: nem todos b_i são iguais.
3. $H_0^{(3)}: c_1 = \dots c_s (=c)$ vs. $H_a^{(3)}$: nem todos c_i são iguais.
4. $H_0^{(4)}: a_1 = \dots a_s (=a) \text{ e } c_1 = \dots c_s (=c)$ vs $H_a^{(4)}$: pelo menos uma igualdade é uma desigualdade.
5. $H_0^{(5)}: a_1 = \dots a_s (=a), b_1 = \dots b_s (=b) \text{ e } c_1 = \dots c_s (=c)$ vs $H_a^{(5)}$: pelo menos uma igualdade é uma desigualdade.

Para testar as hipóteses formuladas, a metodologia utilizada se baseia no teste da razão de verossimilhança (L), com aproximação dada pela estatística qui-quadrado (χ^2), como descrito em Regazzi e Silva (2004).

De acordo com Regazzi (2003), para a aplicação do teste de uma forma ainda mais clara, podem-se seguir os seguintes passos:

1. Ajustar o modelo completo Ω e obter $\hat{\sigma}_\Omega^2 = \frac{SQR_\Omega}{n}$, em que:

SQR_Ω é a soma de quadrados residual para o modelo completo Ω ; e p_Ω é número de parâmetros estimados em Ω .

2. Ajustar o modelo reduzido w (modelo sob a restrição dada por H_0) e

$$\text{obter } \hat{\sigma}_w^2 = \frac{SQR_w}{n}, \text{ em que:}$$

SQR_w é a soma de quadrados residual para o modelo reduzido w ; e p_w é número de parâmetros estimados em w .

3. Obter a estatística do teste:

$$\chi_{calculado}^2 = -n \ln \left(\frac{\hat{\sigma}_\Omega^2}{\hat{\sigma}_{w_i}^2} \right) = -n \ln \frac{SQR_\Omega}{SQR_w}$$

4) Regra de decisão:

Se $\chi_{calculado}^2 \geq \chi_{tabelado}^2 \Rightarrow$ Rejeita-se H_0 . Caso contrário, não se rejeita H_0 .

O teste da razão de verossimilhança pode ser usado para testar as hipóteses formuladas inicialmente. Estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros desconhecidos podem ser obtidas usando o PROC NLIN do SAS (SAS INSTITUTE, 2003). A obtenção dos valores iniciais dos coeficientes para as iterações bem como o programa SAS, que foi adaptado para este trabalho, podem ser visto em Regazzi (2003).

Resultados e Discussão

Os dados constantes nas tabelas apresentadas na sequência foram utilizados para ajustar o modelo logístico e determinar se uma única equação pode ser considerada adequada para cada grupo definido. Utilizou-se a seguinte codificação nas tabelas para calcular as estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros: Ω (nenhuma restrição no espaço paramétrico); w_1 (espaço paramétrico restrito por $a_1 = a_2 = a$); w_2 (espaço paramétrico restrito por: $b_1 = b_2 = b$); w_3 (espaço paramétrico restrito por: $c_1 = c_2 = c$); w_4 (espaço paramétrico restrito por $a_1 = a_2 = a$ e $c_1 = c_2 = c$); e w_5 (espaço paramétrico restrito pelas restrições em w_1 , w_2 e w_3 conjuntamente).

Na Tabela 3, mostram-se as estimativas dos coeficientes em relação aos povoamentos de *Eucalyptus urograndis* dos tratamentos 2 e 4 aos 18 meses do plantio. Observa-se, quanto aos coeficientes do modelo irrestrito, uma maior diferença no coeficiente b (em torno de 10% em relação ao menor valor). Na Tabela 4, mostra-se que todas as hipóteses testadas não foram rejeitadas, ressaltando-se a hipótese 5, cujo significado é que os coeficientes do grupo 1 são iguais ao do grupo 2, simultaneamente, podendo se utilizar somente uma equação, em que $a = 10,8717$; $b = 5,6070$; e $c = 0,3796$.

Na Tabela 5, mostram-se as estimativas dos coeficientes em relação aos povoamentos de *Eucalyptus urograndis* do tratamento 2 e *Eucalyptus cloeziana* do tratamento 5 aos 18 meses do plantio. Observa-se, quanto aos coeficientes do modelo irrestrito, uma maior diferença no coeficiente b (em torno de 25%). Na Tabela 6, mostra-se que as hipóteses 1 ($a_1 = a_2$); 3($c_1 = c_2$); e 4 ($a_1 = a_2$ e $c_1 = c_2$) não foram rejeitadas, ressaltando que a hipótese 5 foi rejeitada, ou seja, pelo menos um coeficiente é diferente entre os dois grupos, com grande probabilidade de ser o coeficiente b, como atesta a hipótese 2.

Tabela 3. Estimativas dos coeficientes do modelo irrestrito (Ω) e modelos restritos (w_1 a w_5) e respectivas somas de quadrados residuais para os povoamentos de *Eucalyptus urograndis* dos tratamentos 2 (a_1 , b_1 e c_1) e 4 (a_2 , b_2 e c_2) aos 18 meses do plantio.

Coeficiente	Ω	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
a_1	11,0636	-	11,1023	11,0319	-	-
b_1	5,7811	5,7993	-	5,7940	5,6888	-
c_1	0,3725	0,3789	0,3657	-	-	-
a_2	10,7457	-	10,5507	10,7936	-	-
b_2	5,1875	5,1312	-	5,1557	5,3518	-
c_2	0,3778	0,3669	0,4018	-	-	-
a	-	10,9332	-	-	10,8966	10,8717
b	-	-	5,6187	-	-	5,6070
c	-	-	-	0,3743	0,3767	0,3796
$* \sum \sigma^2$	917,5866	917,9193	919,1392	917,6975	918,5847	923,9079

* Soma dos quadrados residuais, $n = 1109$ (grupo 1).

Tabela 4. Hipóteses avaliadas, valores da estatística do teste qui-quadrado, número de graus de liberdade e nível descritivo do teste (valor-p) para os povoamentos de *Eucalyptus urograndis* dos tratamentos 2 (a₁, b₁ e c₁) e 4 (a₂, b₂ e c₂) aos 18 meses do plantio.

Hipótese	$\chi^2_{\text{calculado}}^{(1)}$	Número de graus de liberdade (v)	Valor-p $P(\chi^2_v > \chi^2_{\text{calculado}})^{(2)}$
$H_0^{(1)}: a_1 = a_2 = a$	0,4020	1	0,5345
$H_0^{(2)}: b_1 = b_2 = b$	1,8749	1	0,1781
$H_0^{(3)}: c_1 = c_2 = c$	0,1340	1	0,7167
$H_0^{(4)}: a_1 = a_2 = a \text{ e } c_1 = c_2 = c$	1,2057	2	0,5536
$H_0^{(5)}: a_1 = a_2 = a, b_1 = b_2 = b \text{ e } c_1 = c_2 = c$	7,6138	3	0,0564

$$^{(1)} - n \ln \left(\frac{\hat{\sigma}_\Omega^2}{\hat{\sigma}_{w_j}^2} \right)$$

⁽²⁾ A hipótese H_0 é considerada não rejeitada quando o Valor-p > 0,05

Tabela 5. Estimativas dos coeficientes do modelo irrestrito (Ω) e modelos restritos (w_1 a w_5) e respectivas somas de quadrados residuais para os povoamentos de *Eucalyptus urograndis* do tratamento 2 (a₁, b₁ e c₁) e *Eucalyptus cloeziana* do tratamento 5 (a₂, b₂ e c₂) aos 18 meses do plantio.

Coefficiente	Ω	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
a ₁	10,8290	-	10,9418	10,8870	-	-
b ₁	5,7825	5,7979	-	5,7531	5,5680	-
c ₁	0,3858	0,3898	0,3655	-	-	-
a ₂	10,6423	-	10,3091	10,5585	-	-
b ₂	4,6341	4,6233	-	4,6642	4,8819	-
c ₂	0,3764	0,3701	0,4204	-	-	-
a	-	10,7567	-	-	10,7406	10,7208
b	-	-	5,3179	-	-	5,2730
c	-	-	-	0,3821	0,3822	0,3841
*n	754,3308	7632,23	763,23	744,3308	756,432	784,86

* Soma dos quadrados residuais, n = 1236 (grupo 2)

Tabela 6. Hipóteses avaliadas, valores da estatística do teste qui-quadrado, número de graus de liberdade e nível descritivo do teste (valor-p) para os povoamentos de *Eucalyptus urograndis* do tratamento 2 (a_1 , b_1 e c_1) e *Eucalyptus cloeziana* do tratamento 5 (a_2 , b_2 e c_2) aos 18 meses do plantio.

Hipótese	$\chi^2_{calculado}^{(1)}$	Número de graus de liberdade (v)	Valor-p $P(\chi^2_{v} > \chi^2_{calculado})^{(2)}$
$H_0^{(1)}: a_1 = a_2 = a$	0,2025	1	0,6645
$H_0^{(2)}: b_1 = b_2 = b$	14,49	1	< 0,001
$H_0^{(3)}: c_1 = c_2 = c$	0,00	1	1,00
$H_0^{(4)}: a_1 = a_2 = a \text{ e } c_1 = c_2 = c$	3,4381	2	0,0518
$H_0^{(5)}: a_1 = a_2 = a, b_1 = b_2 = b \text{ e } c_1 = c_2 = c$	49,03	3	< 0,001

$^{(1)} - n \ln \left(\frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_{w_i}^2} \right)$

$^{(2)}$ A hipótese H_0 é considerada não rejeitada quando o Valor-p > 0,05

Na Tabela 7, mostram-se as estimativas dos coeficientes em relação aos povoamentos de *Eucalyptus urograndis* dos tratamentos 2 e 4 aos 30 meses do plantio. Observa-se, quanto aos coeficientes do modelo irrestrito, uma maior diferença no coeficiente c (em torno de 73%). Na Tabela 8, mostra-se que as hipóteses 1, 2 e 3 não foram rejeitadas, contudo, quando foram analisadas de maneira simultânea, caso das hipóteses 4 e 5, constatou-se que pelo menos um coeficiente de um grupo foi diferente do outro grupo, ou seja, não é possível utilizar-se somente uma equação.

Na Tabela 9, mostram-se as estimativas dos coeficientes em relação ao mesmo povoamento de *Eucalyptus urograndis* do tratamento 2 aos 18 e 30 meses do plantio. Observa-se, quanto aos coeficientes do modelo irrestrito, uma maior diferença no coeficiente c (em torno de 138%). Na Tabela 10, mostra-se que todas as hipóteses foram rejeitadas, indicando não haver concordância quanto a igualdade dos coeficientes, ou seja, deve existir uma equação no tempo de 18 meses e outra no tempo de 30 meses.

Tabela 7. Estimativas dos coeficientes do modelo irrestrito (Ω) e modelos restritos (w_1 a w_5) e respectivas somas de quadrados residuais para os povoamentos de *Eucalyptus urograndis* dos tratamento 2 (a_1 , b_1 e c_1) e 4 (a_2 , b_2 e c_2) aos 30 meses do plantio.

Coeficiente	Ω	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
a_1	22,0735	-	22,0998	24,3150	-	-
b_1	3,2708	3,3004	-	3,3307	3,2553	-
c_1	0,1503	0,1403	0,1506	-	-	-
a_2	32,5521	-	26,2641	21,5321	-	-
b_2	4,0947	2,9702	-	2,8896	3,6840	-
c_2	0,0868	0,1170	0,1019	-	-	-
a	-	23,1051	-	-	26,1699	25,5460
b	-	-	3,2912	-	-	3,3839
c	-	-	-	0,1299	0,1129	0,1159
$*n\sigma^2$	2899,7892	2903,3079	2900,6451	2907,7776	2924,6103	3071,9202

* Soma dos quadrados residuais, $n = 951$ (grupo 3)

Tabela 8. Hipóteses avaliadas, valores da estatística do teste qui-quadrado, número de graus de liberdade e nível descritivo do teste (valor-p) para os povoamentos de *Eucalyptus urograndis* dos tratamentos 2 (a_1 , b_1 e c_1) e 4 (a_2 , b_2 e c_2) aos 30 meses do plantio.

Hipótese	$\chi^2_{calculado}(1)$	Número de graus de liberdade (ν)	Valor-p $P(\chi^2_{\nu} > \chi^2_{calculado})^{(2)}$
$H_0^{(1)}: a_1 = a_2 = a$	1,1533	1	0,2829
$H_0^{(2)}: b_1 = b_2 = b$	0,2807	1	0,6136
$H_0^{(3)}: c_1 = c_2 = c$	2,6162	1	0,1084
$H_0^{(4)}: a_1 = a_2 = a \text{ e } c_1 = c_2 = c$	8,1056	2	<0,02
$H_0^{(5)}: a_1 = a_2 = a, b_1 = b_2 = b \text{ e } c_1 = c_2 = c$	54,8392	3	<0,001

$$(1) - n \ln \left(\frac{\hat{\sigma}_{a_i}^2}{\hat{\sigma}_{w_j}^2} \right)$$

⁽²⁾ A hipótese H_0 é considerada não rejeitada quando o Valor-p > 0,05

Tabela 9. Estimativas dos coeficientes do modelo irrestrito (Ω) e modelos restritos (w_1 a w_5) e respectivas somas de quadrados residuais para o mesmo povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 18 (a_1 , b_1 e c_1) e 30 (a_2 , b_2 e c_2) meses do plantio no Tratamento 2.

Coefficiente	Ω	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
a_1	10,829	-	10,9347	16,2925	-	-
b_1	5,7825	7,4592	-	6,0706	6,8448	-
c_1	0,3858	0,2173	0,3475	-	-	-
a_2	21,3210	-	18,3546	18,1553	-	-
b_2	3,3684	3,4734	-	4,2861	3,9639	-
c_2	0,1617	0,1851	0,2431	-	-	-
a	-	19,8396	-	-	18,5941	18,5624
b	-	-	4,7983	-	-	8,6068
c	-	-	-	0,2369	0,2200	0,2809
* $n \sigma^2$	987,1785	1027,1690	1017,7310	1030,3150	1032,6140	1399,4255

* Soma dos quadrados residuais, $n = 605$ (grupo 4)

Tabela 10. Hipóteses avaliadas, valores da estatística do teste qui-quadrado, número de graus de liberdade e nível descritivo do teste (valor-p) para o mesmo povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 18 (a_1 , b_1 e c_1) e 30 (a_2 , b_2 e c_2) meses do plantio no Tratamento 2.

Hipótese	$\chi^2_{calculado}^{(1)}$	Número de graus de liberdade (ν)	Valor-p $P(\chi^2_{\nu} > \chi^2_{calculado})^{(2)}$
$H_0^{(1)}: a_1 = a_2 = a$	24,02	1	< 0,001
$H_0^{(2)}: b_1 = b_2 = b$	18,44	1	< 0,001
$H_0^{(3)}: c_1 = c_2 = c$	25,87	1	< 0,001
$H_0^{(4)}: a_1 = a_2 = a \text{ e } c_1 = c_2 = c$	27,22	2	< 0,001
$H_0^{(5)}: a_1 = a_2 = a, b_1 = b_2 = b \text{ e } c_1 = c_2 = c$	211,12	3	< 0,001

$(1) - n \ln \left(\frac{\sigma^2_{\Omega}}{\sigma^2_{w_i}} \right)$

(2) A hipótese H_0 é considerada não rejeitada quando o Valor-p > 0,05

Na Tabela 11, mostram-se as estimativas dos coeficientes em relação ao mesmo povoamento de *Eucalyptus urograndis* do tratamento 4 aos 18 e 30 meses do plantio. Observa-se, quanto aos coeficientes do modelo irrestrito, uma maior diferença no coeficiente c (em torno de

300%). Na Tabela 12, mostra-se que somente a hipótese 2 não foi rejeitada. Como principalmente a hipótese 5 foi rejeitada, deduz-se que deve haver uma equação para o tempo de 18 meses e outra para o tempo de 30 meses.

Na Tabela 13, mostram-se as estimativas dos coeficientes em relação ao mesmo povoamento de *Eucalyptus cloeziana* do tratamento 5 aos 18 e 30 meses do plantio. Observa-se, quanto aos coeficientes do modelo irrestrito, uma maior diferença no coeficiente c (em torno de 80%). Na Tabela 14, mostra-se que todas as hipóteses foram rejeitadas, ou seja, existe necessidade de uma equação aos 18 meses do plantio e uma equação aos 30 meses do plantio.

Tabela 11. Estimativas dos coeficientes do modelo irrestrito (Ω) e modelos restritos (w_1 a w_5) e respectivas somas de quadrados residuais para o mesmo povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 18 (a_1 , b_1 e c_1) e 30 (a_2 , b_2 e c_2) meses do plantio no Tratamento 4.

Coeficiente	Ω	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
a_1	10,1416	-	10,1829	16,4920	-	-
b_1	5,3104	6,0131	-	4,9059	5,1381	-
c_1	0,4253	0,1930	0,4189	-	-	-
a_2	26,0036	-	39,9045	17,1376	-	-
b_2	3,3783	2,8485	-	3,2897	3,2094	-
c_2	0,1058	0,1504	0,0795	-	-	-
a	-	19,6872	-	-	17,3386	17,2482
b	-	-	5,1992	-	-	6,4060
c	-	-	-	0,2083	0,2015	0,2585
$*n\sigma^2$	1573,69	1644,92	1575,90	1657,925	1656,65	2010,505

* Soma dos quadrados residuais, $n = 850$ (grupo 5)

Tabela 12. Hipóteses avaliadas, valores da estatística do teste qui-quadrado, número de graus de liberdade e nível descritivo do teste (valor-p) para o mesmo povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 18 (a_1 , b_1 e c_1) e 30 (a_2 , b_2 e c_2) meses do plantio no Tratamento 4.

Hipótese	$\chi^2_{calculado}^{(1)}$	Número de graus de liberdade (v)	Valor-p $P(\chi^2_{v} > \chi^2_{calculado})^{(2)}$
$H_0^{(1)}: a_1 = a_2 = a$	37,628	1	< 0,001
$H_0^{(2)}: b_1 = b_2 = b$	1,1929	1	0,279
$H_0^{(3)}: c_1 = c_2 = c$	44,322	1	< 0,001
$H_0^{(4)}: a_1 = a_2 = a \text{ e } c_1 = c_2 = c$	43,668	2	< 0,001
$H_0^{(5)}: a_1 = a_2 = a, b_1 = b_2 = b \text{ e } c_1 = c_2 = c$	208,218	3	< 0,001

$(1) - n \ln \left(\frac{\sigma^2_{\Omega}}{\sigma^2_{w_i}} \right)$

⁽²⁾A hipótese H_0 é considerada não rejeitada quando o Valor-p > 0,05

Tabela 13. Estimativas dos coeficientes do modelo irrestrito (Ω) e modelos restritos (w_1 a w_5) e respectivas somas de quadrados residuais para o mesmo povoamento de *Eucalyptus cloeziana* aos 18 (a_1 , b_1 e c_1) e 30 (a_2 , b_2 e c_2) meses do plantio no Tratamento 5.

Coeficiente	Ω	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
a_1	10,5586	-	10,6319	13,5274	-	-
b_1	4,6379	5,5428	-	4,5813	5,5739	-
c_1	0,3819	0,2290	0,3553	-	-	-
a_2	17,3389	-	16,3324	15,9996	-	-
b_2	3,3739	3,5131	-	4,0253	3,4832	-
c_2	0,2127	0,2313	0,2583	-	-	-
a	-	16,7140	-	-	16,7760	16,6486
b	-	-	4,0984	-	-	6,5673
c	-	-	-	0,2660	0,2288	0,2853
$* \sum \sigma^2$	1638,3087	1679,0067	1653,1956	1669,1535	1679,1138	2195,3358

* Soma dos quadrados residuais, n = 1071 (grupo 6)

Tabela 14. Hipóteses avaliadas, valores da estatística do teste qui-quadrado, número de graus de liberdade e nível descritivo do teste (valor-p) para o mesmo povoamento de *Eucalyptus cloeziana* aos 18 (a_1 , b_1 e c_1) e 30 (a_2 , b_2 e c_2) meses do plantio no Tratamento 5.

Hipótese	$\chi^2_{\text{calculado}}^{(1)}$	Número de graus de liberdade (ν)	Valor-p $P(\chi^2_{\nu} > \chi^2_{\text{calculado}})^{(2)}$
$H_0^{(1)}: a_1 = a_2 = a$	26,280	1	< 0,001
$H_0^{(2)}: b_1 = b_2 = b$	9,688	1	< 0,001
$H_0^{(3)}: c_1 = c_2 = c$	19,976	1	< 0,001
$H_0^{(4)}: a_1 = a_2 = a \text{ e } c_1 = c_2 = c$	26,348	2	< 0,001
$H_0^{(5)}: a_1 = a_2 = a, b_1 = b_2 = b \text{ e } c_1 = c_2 = c$	313,450	3	< 0,001

$$^{(1)} - n \ln \left(\frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_{ay}^2} \right)$$

⁽²⁾ A hipótese H_0 é considerada não rejeitada quando o Valor-p > 0,05

Com exceção do grupo de povoamentos de *Eucalyptus urograndis* aos 18 meses do plantio, cuja única distinção foi o espaçamento entre renques (Tabela 3), podendo se estabelecer uma única equação para as duas situações, nos outros grupos (Tabelas 6, 8, 10, 12 e 14), existe a necessidade de se estabelecer uma equação para cada situação dentro de cada grupo. No primeiro caso (Tabela 4), uma explicação plausível é que a maior altura no povoamento de 18 meses de *E. urograndis*, com distância entre renques de 12 m (Tratamento 4), não ultrapassou 12 m. No segundo caso (Tabelas 6 a 14), os fatores que mais pesaram para a desigualdade dos modelos foram provavelmente a espécie, o tipo de arranjo espacial das plantas e a idade dos povoamentos. Os efeitos da idade do povoamento afetam a relação entre altura e diâmetro, impedindo o uso da mesma relação em inventários sucessivos. Ao invés disso, uma nova relação deveria ser realizada baseada em dados novos (SCOLFORO, 1997). Quando as árvores vão atingindo o clímax as relações já não mudam muito (FINGER, 1992).

A relação hipsométrica em povoamentos com a mesma idade varia de acordo com sua densidade e com a qualidade do sítio. Nessas circunstâncias, uma única relação hipsométrica ajustada para um povoamento de grandes dimensões encerraria várias relações diferentes,

resultando em uma variação alta em torno da linha de regressão da altura em função do diâmetro (PRODAN et al. 1997; ARIAS 2004; BARTOSZECK et al., 2004).

Conclusões

Houve identidade de modelo na situação de dois povoamentos do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 18 meses do plantio, em que a distinção entre os mesmos foi a distância entre renques.

Não houve identidade de modelos nas seguintes situações: povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com povoamento de *Eucalyptus cloeziana* aos 18 meses da implantação; povoamentos do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 30 meses da implantação; povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 18 meses e 30 meses da implantação e povoamento de *Eucalyptus cloeziana* aos 18 meses e 30 meses da implantação.

Nas condições do presente trabalho, conclui-se que o mesmo modelo logístico hipsométrico, considerando os mesmos parâmetros, não pode ser utilizado para plantios em idade diferente (18 e 30 meses) num mesmo sistema ou arranjo agrossilvipastoril, ou seja, para maior precisão na estimativa dos dados de altura e, por conseguinte, na estimativa dos dados de volume, há necessidade de um novo inventário, passados 12 meses.

Referências

- ARIAS, D. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. **Kurú**, Cartago, v. 1, n. 2, p. 1-11, set. 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. 149-163, 2001.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; 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, PR. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 517-533, set./dez. 2004.

CALEGARIO, N.; CALEGARIO, C. L. L.; MAESTRI, R.; DANIELS, R. Melhoria da qualidade de ajuste de modelos biométricos florestais pelo emprego da teoria dos modelos não lineares generalizados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 69, p. 38-50, 2005.

CHAPMAN, H. H.; MEYER, W. H. **Forest mensuration**. New York: McGraw-Hill, 1949. 522 p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos da biometria florestal**. Santa Maria: UFSA, 1992. 269 p. v. 2.

GUIMARÃES, M. A. M.; CALEGÁRIO, N.; CARVALHO, L. M. T.; TRUGILHO, P. F. Height-diameter models in forestry with inclusion of covariates. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 313-321, 2009.

MORAES NETO, S. P. de; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MUNHOZ, D. J. de M.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; MARCHÃO, R. L. **Modelos hipsométricos para Eucalyptus cloeziana e Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis em sistema agrossilvipastoril**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 33 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 286).

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal**. San José: IICA, 1997. 586 p. (Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible).

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 287, 2003.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Test for parameters equality in nonlinear regression models. I. Data in the randomized complete design. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 33-45, 2004.

SAS INSTITUTE. **The SAS-system for windows: release 9.1**. Cary, 2003. (Software).

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal 2: técnicas de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira**. Lavras: UFLA/FAEPE/DCF, 1997. 292 p.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, Lawrence, v. 30, n. 3, p. 594-616, 1993.



Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

