TESTE DE IDENTIDADE EM MODELO HIPSONMÉTRICO PARA *Eucalyptus urograndis* COM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS EM PRESIDENTE PRUDENTE – SP.

Plínio Carielo¹, Renato de Araújo Ferreira², João Luiz DalPonte Filho²

¹Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná – UNICENTRO, Ciências Florestais.

²Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Escola Técnica Estadual Prof. Dr. Antônio Eufrásio de Toledo - ETEC, Presidente Prudente, SP. E-mail: pliniocarieloengflorestal@gmail.com

RESUMO

Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o emprego de uma equação hipsométrica geral para povoamentos de *Eucalyptus urograndis* implantados em diferentes arranjos de plantio, 3x1m, 3x2m e 3x4m. Para isso utilizou-se o teste de identidade de modelos. Analisando os resultados, conclui-se que é possível utilizar uma única equação para os arranjos testados, diminuindo de forma expressiva a quantidade de equações e tempo necessários para o processamento de futuros inventários florestais em florestas em situação semelhante a estudada.

PALAVRAS – CHAVE: Arranjos espaciais, estimativa altura, validação de equações, equação completa, equação reduzida.

TEST OF IDENTITY HIPOSMETRIC MODEL FOR *Eucalyptus urograndis* WITH DIFFERENT SPACING IN PRESIDENTE PRUDENTE – SP.

ABSTRACT

This study was conducted with the objective of evaluating the use of a global equation for *Eucalyptus urograndis* stands implanted in different plant arrangements, 3x1m, 3x2m and 3x4m. To do this, use the model identity test. Analyzing the results, it is concluded that it is a unique application for the tested arrangements, significantly reducing the amount of equations and time required for the processing of future forest inventories in forested forests.

KEYWORDS: Spatial arrangements, height estimation, equations validation, complete equation, reduced equation.

INTRODUÇÃO

O conhecimento do volume de madeira existente em um povoamento florestal comercial, bem como os incrementos crescente e médio anual destes volumes são essenciais para orientar decisões de manejo florestal. Este volume de madeira, na grande maioria das vezes, é obtido por meio de equações volumétricas que levam em conta o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total (h) das árvores (SCOLFORO, 2005).

Entretanto, a variável altura é de difícil coleta, o que acarreta a elevação dos custos dos levantamentos florestais; por isso é prática comum no meio florestal a medição da altura total de algumas árvores apenas, que associadas ao seu DAP servem de base para o ajuste de relações matemática por meio de regressão linear, que permitiram a determinação da altura total das árvores com base no seu DAP, que é uma variável menos onerosa. Estas relações são denominadas de Equações Hipsométricas.

De acordo com Campos & Leite (2009), o ajuste de equações normalmente se restringe a espécie, espaçamento, idade, regime de corte e qualidade do local, sendo ideal a utilização das mesmas especificamente para um conjunto de dados dentro das mesmas condições. Regazzi & Silva (2010) destacam que quando se realizam ajustes de várias equações para determinar uma

variável que se encontra em grupos distintos, torna-se interessante avaliar entre estas funções se os parâmetros estimados são estatisticamente iguais no intuito de utilizar uma única equação.

Diante disso este trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade de agrupamento de dados a fim de ajustar uma equação hipsométrica comum para a espécie *Eucalyptus urograndis* implantada em diferentes arranjos espaciais na região de Presidente Prudente – SP, com o intuito de reduzir o número de equações ajustadas.

METODOLOGIA

Localização e caracterização da área.

O presente trabalho foi realizado na ETEC Prof. Dr. Antonio Eufrásio de Toledo, localizada na Rodovia Raposo Tavares Km 561, bairro Nova Prudente, cujas coordenadas geográficas são de 22°10'54" S e 51°22'01" O.

As árvores mensuradas pertencem a reflorestamentos comerciais implantados em 2014 com diferentes espaçamentos 3, 6 e 12 m² / planta, nos arranjos 3x1m, 3x2m e 3x4m, respectivamente.

Dados coletados

Foram coletados o DAP (1,30m do solo) e a Altura total de 25 árvores de cada espaçamento analisado, com auxílio de uma suta florestal e um hipsômetro do tipo clinômetro digital, respectivamente. Destas árvores 20 foram utilizadas para o ajuste de regressão e 05 foram utilizadas para validação das equações hipsométricas ajustadas.

Organização dos dados e ajuste do modelo de relação hipsométrica

O modelo hipsométrico ajustado neste trabalho foi o modelo Trorey, cuja altura total (h) é determinada em função do DAP e DAP².

$$h = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + e_i \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: h = altura total (m); DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm); β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes; e_i = erro aleatório.

Para ajustar o modelo hipsométrico citado, criou-se a Matriz de dados abaixo, onde “Y” é a variável dependente e “X” a variável independente.

Tabela 01 – Matriz de dados necessária para determinação dos parâmetros β_0 , β_1 e β_2 , das equações hipsométricas geradas para cada espaçamento analisado.

Nº. Árv.	Y					X					Espaçamento
1	h	1	DAP	DAP ²	0	0	0	0	0	0	3x1
2	h	1	DAP	DAP ²	0	0	0	0	0	0	3x1
...	h	1	DAP	DAP ²	0	0	0	0	0	0	3x1
20	h	1	DAP	DAP ²	0	0	0	0	0	0	3x1
1	h	0	0	0	1	DAP	DAP ²	0	0	0	3x2
2	h	0	0	0	1	DAP	DAP ²	0	0	0	3x2
...	h	0	0	0	1	DAP	DAP ²	0	0	0	3x2
20	h	0	0	0	1	DAP	DAP ²	0	0	0	3x2
1	h	0	0	0	0	0	0	1	DAP	DAP ²	3x4
2	h	0	0	0	0	0	0	1	DAP	DAP ²	3x4
...	h	0	0	0	0	0	0	1	DAP	DAP ²	3x4

20	h	0	0	0	0	0	0	1	DAP	DAP ₂	3x4
----	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	------------------	-----

A forma como está matriz está organizada permite a determinação dos parâmetros (β) por meio da expressão:

$$\beta = (X' * X)^{-1} * (X' * Y) \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: β = vetor de parâmetros estimados para o modelo completo; X = matriz da variável independente; Y = vetor da variável dependente.

O resultado da aplicação dessa expressão é denominado de “Modelo Completo”, pois, resulta em uma Equação para cada espaçamento analisado.

Diferente do Modelo Completo o “Modelo Reduzido” resulta em uma única Equação para representar todos os espaçamentos analisados; desta forma a matriz de dados criada para realizar o ajuste desta equação única não leva em consideração a separação por espaçamento.

Tabela 02 – Matriz de dados necessária para determinação dos parâmetros θ_0 , θ_1 e θ_2 , do modelo reduzido.

Nº árvores	Y	Z
1	h	1
2	h	1
...	h	1
60	H	1

A determinação dos parâmetros do modelo reduzido (θ) é possível por meio da expressão:

$$\theta = (Z' * Z)^{-1} * (Z' * Y) \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: θ = vetor de parâmetros estimados para o modelo reduzido; Z = matriz da variável independente; Y = vetor da variável dependente.

Estes diferentes ajustes permite a aplicação do Teste de Identidade de Modelos, proposto por Regazzi (1993), que verifica a possibilidade de uma única equação representar a relação hipsométrica para todos os espaçamentos. A análise de variância utilizada para testar a identidade dos modelos de regressão é apresentada na Tabela 03.

Tabela 03 – Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fcalc.
Parâmetro β (Completo)	h*p	Q1		
Parâmetro θ (Reduzido)	P	Q2		
Redução	h*p – p	Q3	V ₁	V ₁ / V ₂
Resíduo	n – h*p	Q4	V ₂	
Total	N	Q5		

Em que: h = número de espaçamentos amostrados; p = número de parâmetros do modelo utilizado; n = número de observações total; G.L. = grau de liberdade; S.Q.= soma de quadrados; Q.M.: quadrado médio; Fc= estatística F.

Equações para determinação das Somas dos Quadrados e Quadrado Médio:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \beta'*(X'*Y) & Q_4 &= Q_5 - Q_1 & V_1 &= Q3 / G.l_{\text{reduzido}} \\ Q_2 &= \theta'*(Z'*Y) & Q_5 &= Y'*Y & V_2 &= Q4 / G.l_{\text{residuo}} \\ Q_3 &= Q_1 - Q_2 \end{aligned}$$

Em que: β' = matriz de dados transposta; X' = matriz de dados transposta; θ' = matriz de dados transposta; Z' = matriz de dados transposta.

Assim, quando o valor da estatística, F calculado, for maior ou igual ao seu valor tabelar, indica significância ao nível de 5% de probabilidade, mostrando que é possível utilizar uma única equação para estimar a relação hipsométrica em diferentes espaçamentos.

RESULTADOS

Na Tabela 04 observa-se os resultados da análise descritiva dos dados de diâmetro a 1,3 m de altura (DAP) e altura total (h) do povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 03 anos de idade, nos diferentes arranjos espaciais avaliados.

Tabela 04 – Análise descritiva das variáveis de DAP e h de um povoamento de *Eucalyptus urograndis* sob diferentes espaçamentos de plantio, aos 03 anos de idade, em Presidente Prudente – SP.

Espaçamento	Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	Desvio
3x1	DAP (cm)	4,9	10,4	14,6	2,4
	h (m)	8,4	15,1	18,9	2,3
3x2	DAP (cm)	7,8	12,0	13,8	1,5
	h (m)	12,7	15,7	17,4	1
3x4	DAP (cm)	13,3	15,0	16,3	0,8
	h (m)	15,4	16,9	17,8	0,6

Verificou-se uma elevação dos diâmetros e altura média, em função do aumento do espaçamento, o que já era esperado em virtude da maior área útil por planta. Observou-se também uma diminuição da oscilação dos valores em relação à média com o aumento do espaçamento, isso pode ser explicado pela menor competição entre as plantas, tornando a floresta mais homogênea por não ocorrer árvores dominadas.

A Tabela 05 apresenta os coeficientes obtidos com o ajuste do Modelo de Trorey, bem como as estatísticas de ajuste e precisão.

Tabela 05 – Parâmetros e estatísticas de ajuste e precisão do modelo de Trorey ajustado para *Eucalyptus urograndis* sob diferentes arranjos espaciais em Presidente Prudente – SP.

Espaçamento	β_0	β_1	β_2	R ² Aj.	Syx%
3x1	-1,570	2,468	-0,079	0,800	6,81
3x2	0,321	2,201	-0,075	0,583	4,24
3x4	4,013	1,217	-0,024	0,330	3,05
Eq. Reduzida (θ)	0,745	2,066	-0,066	0,760	5,08

Após determinado os parâmetros das equações ajustadas, realizou-se a Análise de Variância do teste de identidade de modelos, cujo resultado encontra-se na Tabela 06, abaixo.

Tabela 06 – Análise de variância para o teste de identidade para modelos hipsometricos para *Eucalyptus urograndis* sob diferentes arranjos espaciais em Presidente Prudente – SP.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fcalc.	F tab.
Parâmetro β (Completa)	9	15289,47			
Parâmetro θ (Reduzido)	3	15282,36			
Redução	6	7,12	1,186	2,014	0,081
Resíduo	51	30,04	0,589		
Total	60	15319,51			

Diante do resultado do Teste de Identidade de Modelos realizamos a validação da Equação Reduzida por meio da aplicação do Teste T de Comparação das médias dos valores reais observados em campo com os valores estimados pelo uso da equação reduzida para as 15 árvores mensuradas em campo que não foram utilizadas no ajuste do modelo hipsométrico.

O P ($T \leq t$) determinado pelo Teste T para duas amostras em par para média foi de 0,087 ($\alpha = 8,7\%$), ou seja, aceita-se a hipótese de nulidade como verdadeira, por dizer que as médias dos diferentes tratamentos, altura real observada em campo e altura estimada pela equação reduzida, são iguais a um nível de probabilidade de 5%.

DISCUSSÕES

Segundo Campos e Leite (2013) em espaçamentos menores a competição por parte das raízes se iniciam primeiro; logo isso significa que a área útil por planta para explorar em busca de água e nutrientes é menor e ocorre mais cedo, acarretando menor desenvolvimento, como visto neste trabalho.

A correlação entre estas variáveis, DAP e altura, não é muito forte, dificilmente é maior que 0,800 (SCOLFORO, 1997 aput MIGUEL, 2009).

Segundo Bartoszeck et al. (2004) a correlação entre as variáveis altura e DAP são maiores nos povoamentos mais densos, isso corrobora com os resultados encontrados neste trabalho, onde a maior correlação foi encontrada no menor arranjo, 3x1m, R^2 aj.= 0,800. Observa-se também neste trabalho que o uso do modelo reduzido, gera ganhos em termos de correlação entre as variáveis para aplicação nos espaçamentos maiores. O modelo reduzido apresentou um R^2 aj.=0,760, enquanto os arranjos 3x2m e 3x4m, apresentou 0,583 e 0,330, respectivamente.

De maneira geral o erro padrão das estimativas em porcentagem (Syx%) foram satisfatórios apresentando-se abaixo de 7% em todas as situações. A diminuição dos erros padrão de estimação com o aumento do espaçamento está associada a maior homogeneidade das árvores em virtude da falta de competição e maior disponibilidade de recursos.

Diante dos resultados significativos da Análise de Variância para o teste de identidade, F calculado maior que o F tabelado; constatamos que as quatro equações ajustadas não diferem, estatisticamente, a 5% de probabilidade; ou seja, o uso de uma única equação é suficiente para o povoamento estudado.

CONCLUSÕES

O teste de identidade revelou que é possível utilizar uma única equação para os arranjos de plantio 3x1m, 3x2m e 3x4m, desde que seja utilizado todos os pares de DAP e Ht coletados nos diferentes arranjos de plantio para o ajuste da equação hipsométrica geral (reduzida) através do modelo de Trorey para plantios de *Eucalyptus urograndis* com 3 anos de idade.

REFERÊNCIAS

BARTOSZECK, A. C. P. S. et al. 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, ago. 2004.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3.ed. atual. E ampl. Viçosa, MG: UFV, 548 p. 2009.

MIGUEL, E.P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do Estado de Goiás**. Curitiba: UFPR, 2009. (Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná).

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

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. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000300005>

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Parte I: modelos de regressão linear e não linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.