

MODELAGEM NA PREDIÇÃO DO VOLUME INDIVIDUAL EMPLANTIO DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS*

Eder Pereira MIGUEL¹
Fabrício Assis LEAL¹
Henrique Akio ONO²
Ulcilea Alves Severino LEAL²

- RESUMO: Objetivou-se neste trabalho ajustar e selecionar modelos volumétricos na estimativa do volume individual em um plantio comercial de *Eucalyptus urograndis*. Todavia, foi realizado o inventário florestal no povoamento, o qual localiza-se no município de Niquelândia/Goias. Foram lançadas aleatoriamente 10 parcelas de 30 x 20m, em área total de 10 hectares, onde foram medido o DAP's e a altura de todos os indivíduos das parcelas. Foi realizada a cubagem rigorosa pelo método destrutivo em cinco árvores representativas, em cada uma das 11 classes diamétricas encontradas, totalizando 55 árvores. O volume de cada árvore foi obtido pelo método de Newton. A partir destes dados foram ajustados nove modelos volumétricos. Sequencialmente os modelos foram submetidos a análises baseadas nas estatísticas de ajuste e precisão. O modelo volumétrico de Takata foi ligeiramente superior tornando-se o mais indicado para obtenção do volume individual total na área em estudo.
- PALAVRAS-CHAVE: Cubagem rigorosa; inventário florestal; modelos volumétricos; volumetria.

1 Introdução

A história demonstra que a maioria dos países desenvolvidos utilizou o capital oriundo dos recursos naturais, especialmente dos florestais, para alavancar seus processos de desenvolvimento.

O Brasil também utiliza seus recursos florestais, desde seu descobrimento, como um dos fatores de promoção de seu desenvolvimento. Todavia, mesmo após cinco séculos, o país ainda não reconhece integralmente o valor de suas florestas nativas e plantadas.

Atualmente com a pressão socioambiental mundial sobre as florestas tropicais os reflorestamentos ganham espaço no mercado madeireiro. As madeiras de espécies exóticas de rápido crescimento, principalmente do Gênero *Eucalyptus* sp. é uma tendência real nas últimas décadas.

Para o produtor florestal conhecer o volume de madeira de uma população florestal é de extrema relevância, pois a valorização da madeira e dos produtos florestais e a

1 Universidade de Brasília - UnB, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, CEP: 70910-900, Brasília, DF, Brasil. E-mail: miguelederpereira@gmail.com; fabricaoassisleal@gmail.com

2 Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS, Campus CPCS, CEP: 79560-000, Chapadão do Sul, MS, Brasil, E-mail: akio_ono@hotmail.com; ulcilea.leal@ufms.br.

necessidade do uso social, ecológico e economicamente correto dos recursos florestais aumentam cada vez mais. A preocupação com o planejamento, ordenamento e o uso da madeira cada vez exigem uma maior precisão.

O volume de madeira de um povoamento é uma das variáveis fundamentais no planejamento florestal, sendo imprescindível para a implementação de planos de manejo sustentável das florestas (LEITE e ANDRADE, 2002; MIGUEL et al., 2010). Neste contexto o Inventário Florestal torna-se uma ferramenta insubstituível.

Geralmente, ao realizar um inventário florestal com objetivo de quantificar o volume sólido de um povoamento, as equações de volume são fundamentais, por isso, vários modelos matemáticos foram desenvolvidos com essa finalidade. Apesar de o uso ter consagrado a eficiência de alguns modelos, nem sempre os mesmos ajustam às espécies, a região, o regime de manejo e as condições de interesse, todavia é recomendado ajustar e testar vários modelos para, através de análises e critérios estatísticos, selecionar o que melhor se identifica em cada situação.

Como essa variável não é facilmente mensurável utilizam-se modelos matemáticos para estimar o volume individual de todas as árvores da população inventariada. Estes modelos matemáticos, conhecido no meio florestal como modelos volumétricos são ferramentas básicas na atividade florestal.

Os modelos volumétricos utilizam uma variável dependente que é o volume, advindo do processo de cubagem rigorosa, correlacionado com variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total (Ht) ou comercial (MACHADO et al., 2002; THOMAS et al., 2006). Uma vez obtidas às equações matemáticas pode-se estimar volumes individuais de cada árvore e, estas equações quando apresentam bons ajustes, são capazes de captar as variações do povoamento e com base num procedimento de amostragem realizado em campo, utilizando unidades amostrais (parcelas), chega-se a estimativa de volume por árvore, por parcelas, em seguida por hectare e, por fim, para toda a população inventariada.

Inúmeros pesquisadores como (GOLDING e HALL, 1961; PAULA NETO et al., 1977; SCOLFORO e FIGUEIREDO FILHO, 1998; MACHADO et al., 2002, CAMPOS e LEITE, 2013; PELISSARI et al., 2011; SCHRÖDER et al., 2013), dedicaram e vem dedicando esforços para o ajuste, comparação e seleção de modelos volumétricos para diferentes espécies, espaçamentos e regiões, no intuito de melhorar os estimadores da variável de interesse (volume), bem como facilitar a quantificação desta variável para produtores florestais no momento da comercialização de suas áreas florestadas.

Neste contexto o objetivo do presente estudo foi ajustar e selecionar modelos volumétricos para a estimativa do volume individual em povoamentos de *Eucalyptus urograndis* em Niquelândia/GO.

2 Material e métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no horto florestal, pertencente à Empresa "Anglo American", localizada em Niquelândia/GO. O ponto central da área de estudo está compreendido entre as coordenadas 14°24' 8,4" de Latitude Sul e 48° 44' 31" de Longitude Oeste a uma altitude de 675 metros.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (2009), o solo na área do plantio é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como climas úmidos tropicais, com suas estações bem definidas: seca no inverno, iniciando do mês de maio e estendendo-se até o fim de agosto, e úmida no verão, que tem início em outubro indo até o mês de março, com transições nas proximidades dos períodos que estão findando e a precipitação média anual são de 1200 mm.

Possui temperatura máxima de 36,5°C e mínima de 15°C. A umidade relativa do ar entre os meses de maio a setembro é abaixo de 70% e a umidade mínima ocorre em agosto, com média de 47%, mas podendo atingir 15% (NIMER, 1989) ou até mesmo chegar a 10% em alguns anos. A vegetação predominante é o cerrado *sensu stricto*.

2.2 Amostragem, variáveis e análise dos dados

Um inventário florestal foi realizado na área, com uma treina foram demarcadas dez parcelas de 1000m² cada (50mx20m), de forma permanente para estudos presente e futuros em uma área total de 5 hectares de floresta plantada com *Eucalyptus urograndis*, com cinco anos de idade. O Método da Área Fixa foi utilizado e o processo de amostragem adotado foi o Casual Simples, na qual as parcelas foram sorteadas ao acaso.

Depois de estabelecida às parcelas, foram obtidas as variáveis diâmetro e altura total (Ht). Para medição do diâmetro utilizou-se uma fita diamétrica e estes foram mensurados à 1,30m do solo (DAP), de todas as árvores que compunham as 10 parcelas, nestas mesmas árvores foram mensuradas as alturas por meio de aparelhos hipsométricos. Todavia o hipsômetro BlumeLeiss, na escala de 1:30m foi adotado.

Antes de realizar o processo de cubagem rigorosa, foi avaliada a distribuição dos indivíduos através da análise da frequência por classe de diâmetro. O intervalo de classe utilizado foi de 2cm, conforme recomendado por Scolforo e Thiersch (2004), para povoamentos florestais. A distribuição das árvores amostradas em classes de diâmetro tem por finalidade, representar a estrutura horizontal do povoamento e ao mesmo tempo garantir que árvores sejam cubadas por toda a extensão de sua amplitude diamétrica, garantindo assim consistência e acurácia no ajuste dos modelos.

Assumiu-se como de praxe, que a repartição das árvores em classe de diâmetros em povoamentos equiâneos tende a distribuição normal, logo foi avaliada por meio das estatísticas: medidas de tendência central, variância, desvio-padrão, coeficiente de variação, medidas de assimetria e de curtose.

O coeficiente de variação (CV), por ser uma medida adimensional e possibilitar a comparação da variabilidade com outras variáveis, sendo que os valores são classificados conforme o critério proposto por Gomes (2000): baixo (CV < 10%); médio (10% < CV < 20%); alto (20% < CV < 30%), e muito alto (CV > 30%).

A assimetria indica a tendência de maior concentração dos dados em relação ao ponto central, por vez foi analisada quanto aos seguintes aspectos:

- **Simétrica:** moda = mediana = média aritmética.
- **Assimetria à direita ou positiva,** se: moda < mediana < média aritmética.
- **Assimetria à esquerda ou negativa,** se: moda > mediana > média aritmética.

Caso o coeficiente de assimetria obtido pela fórmula de Pearson, em módulo, estiver entre 0,15 e 1, a assimetria era considerada moderada. Se o mesmo for maior que 1, a assimetria é considerada forte.

A curtose refere-se ao grau de achatamento ou elevação relativa de uma distribuição, considerada usualmente em relação à distribuição teórica normal. Esse comportamento é dado pela concentração dos valores em relação à média. Pereira e Tanaka (1990) e Crespo (1998), definiram três tipos de curvas em relação ao Coeficiente Percentílico de Curtose:

- **Leptocúrtica:** distribuição que tem um pico relativamente alto, com excesso negativo, ou seja, coeficiente de curtose < 0,263.
- **Platicúrtica:** curva que apresenta um topo mais achatado, com excesso positivo, isto é, coeficiente de curtose > 0,263.
- **Mesocúrtica:** curva intermediária, com coeficiente de curtose igual a 0,263. Sequencialmente para obtenção do volume de cada árvore abatida no processo de cubagem foi adotado o método absoluto de Newton, conforme descrito por Husch et al. (1982), no qual o diâmetro foi medido ao longo do tronco nas alturas correspondentes de 0,10; 0,30; 0,50; 0,70; 0,90; 1,30; 2; 3m; e assim sucessivamente, de 1 em 1m, até atingir a altura total da árvore. Segundo Newton, o volume total do fuste de uma árvore pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\sum(v_i + v_{i+1} + \dots + v_{i+n}) + v_p, \quad (1)$$

em que v_i = volume da seção; v_p = volume da ponta, e

$$v_i = \left(\frac{g_1 + 4g_{int} + g_{i+1}}{6} \right) * L, \quad (2)$$

em que g_1 = área seccional do extremo da seção; g_{i+1} = área seccional do outro extremo da seção; g_{int} = área seccional do meio da seção; L = comprimento da seção; e

$$\sum(v_i + v_{i+1} + \dots + v_{i+n}) + v_p, \quad (3)$$

em que g_{ponta} = área seccional da ponta; L_p = comprimento da ponta.

Obtidos os volumes das árvores abatidas em campo, foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Nove modelos volumétricos, subdivididos em lineares e não lineares conforme Tabela 1. No ajuste dos modelos e na obtenção das estatísticas foram utilizados os programas *IBMSPSSStatistics20* e o *Action2.7*, os gráficos foram feitos no *Microsoft Office Excel 2013*.

Na escolha da melhor equação ajustada para estimar o volume total por árvore foram adotados os critérios tradicionais utilizados na verificação da qualidade dos ajustes, na seguinte sequência de importância, de acordo Draper e Smith (1981): Análise gráfica dos resíduos (%) e comportamento do modelo ajustado em relação ao volume real; Erro-padrão da estimativa absoluto e em porcentagem ($S_{yx}m^3$; $S_{yx}\%$); Coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$); e valor “F” de Fischer.

Tabela 1-Modelos volumétricos ajustados para a estimativa do volume total em povoamento de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal

Modelo	Autor/Ano	Modelo
1	Husch (1963)	$LnV = \beta_0 + \beta_1.LnDap + \varepsilon$
2	Brenac	$LnV = \beta_0 + \beta_1.LnDap + \beta_2.\frac{1}{Dap} + \varepsilon$
3	Spurr (1952)	$V = \beta_0 + \beta_1.Dap^2H + \varepsilon$
4	Schumacher & Hall (Ln) (1933)	$LnV = \beta_0 + \beta_1.LnDap + \beta_2.LnH + \varepsilon$
5	Ogaya (1968)	$V = Dap^2.(\beta_0 + \beta_1.H) + \varepsilon$
6	Stoate (1945)	$V = \beta_0 + \beta_1.Dap^2 + \beta_2.Dap^2H + \beta_3.H + \varepsilon$
7	Schumacher & Hall (1933)	$V = \beta_0.Dap^{\beta_1}.H^{\beta_2} + \varepsilon$
8	Takata (1958)	$V = \frac{Dap^2.H}{\beta_0 + \beta_1.Dap} + \varepsilon$
9	Honner (1965)	$V = \frac{Dap^2}{(\beta_0 + \beta_1.\frac{1}{H})} + \varepsilon$

V = volume em metros cúbico; Dap = diâmetro à altura do peito; β_i 's = parâmetros a serem estimados; Ln = logaritmo neperiano; H = altura total; ε = erro de estimativa.

Os modelos matemáticos que se desenvolvem na escala logarítmica, fornecem o logaritmo da variável de interesse, logo, torna-se necessário calcular o antilogaritmo desta variável para obter os valores na forma aritmética. Para eliminar a discrepância logarítmica, os valores estimados pelas equações logaritimizadas foram corrigidos através da multiplicação entre o volume estimado de cada indivíduo pela expressão do Fator de Correção de Meyer (1941) onde: $Fm = e^{0,5*Q.M.res}$. Todavia, para o caso das equações logarítmicas, o S_{yx} , m^3 e o R^2 aj, foram recalculados para unidades aritméticas.

Adicionalmente, os modelos ajustados foram comparados por meio do Critério de Informação de Akaike (AIC). O AIC é uma medida da qualidade relativa do ajuste (AKAIKE, 1974) e é definido como:

$$AIC = -2 \ln(L_p) + 2p, \quad (4)$$

onde L_p é o valor que torna máxima a função de máxima verossimilhança do modelo estimado e p é o número de parâmetros do modelo.

Por fim foi utilizado o Critério de Informação Bayesiano (BIC), Sua determinação Schwarz (1978) se dá pela expressão definida por:

$$BIC = -2 \ln(L_p) + Kp \quad \text{Para } K = \ln(n), \quad (5)$$

sendo n o número de observações.

Tanto o AIC quanto o BIC aumentam conforme a soma dos quadrados dos erros aumenta. Desta forma, quanto menor o valor do AIC e BIC de um modelo, menor sua

discrepância geral estimada e, por consequência, menor sua distância relativa para os valores reais.

Para simular a quantidade de árvores a serem cubadas para o ajuste dos modelos volumétricos, foi realizado o cálculo da suficiência amostral em relação a variável volume, onde:

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E^2}, \quad (6)$$

sendo: n - quantidade mínima de árvores cubadas; t - valor da probabilidade da distribuição de *Student*; CV - coeficiente de variação em porcentagem, e E - expectativa de erro, em relação à variável em questão, pré-estabelecido em 10%.

3 Resultados e discussão

3.1 Análise exploratória da variável diâmetro

A estrutura de uma floresta baseia-se principalmente na distribuição de árvores e de suas dimensões em relação a unidade de área, resultado das características do seu crescimento e dos fatores ambientais (MIGUEL et al., 2010). Generalizando, o diâmetro é a variável mais importante no meio florestal, e a distribuição diamétrica é uma poderosa ferramenta utilizada na modelagem, na obtenção do volume e no entendimento do desenvolvimento dos povoamentos florestais.

Os diâmetros do povoamento apresentaram média de 13,60, mediana de 13,79 e moda de 14,43, deduzindo que o mesmo possui uma distribuição assimetria moderada negativa, pois média < mediana < moda, justificado pelo coeficiente de assimetria de -0,46. A distribuição diamétrica é do tipo leptocúrtica, (Figura 1) com valor curtose de 0,263, comprovando a baixa variabilidade, desvio-padrão de 1,69 e coeficiente de variação de 12,45%. Além disso, os valores de mínimo de 5,15 e máximo de 17,89 indicam a não existência de problemas amostrais com os dados.

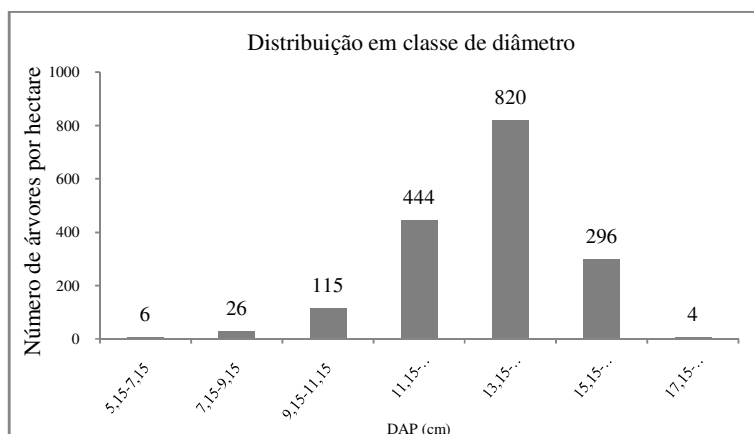


Figura 1 - Distribuição diamétrica em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* amostrado em Niquelândia-GO.

Pelo gráfico de probabilidade normal (Figura 2) advindo do teste de Shapiro-Wilk (1965), verifica-se que a distribuição diamétrica assume um comportamento distante da linha reta, caracterizando uma distribuição indeterminada.

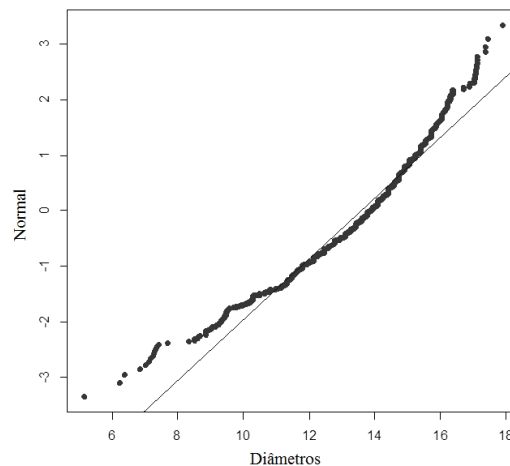


Figura 2 - Probabilidade normal para a distribuição diamétrica.

Sanquetta et al. (2014), encontrou características descritivas semelhantes ao presente trabalho ao analisarem povoamentos de *Acaciamearnsii*, assim como Finger (1982), avaliando a distribuição diamétrica de povoamentos florestais em diferentes idades, 4,5; 5,5; 6,5 e 7,5 anos. Este comportamento é típico e esperado em povoamentos equiâneos, divergências podem ocorrer em função do grau de melhoramento genético das espécies, dos tratos silviculturais e do regime adotado de tal forma a acentuar ou diminuir as frequências das árvores com diâmetros maiores, deslocando, assim, a moda para a direita ou à esquerda da média.

3.2 Ajuste e seleção dos modelos

A intensidade amostral para o erro adotado (10%), retornou uma quantidade mínimas de 52 árvores a serem cubadas. Todavia para não ter problemas na amostragem abateu-se 55 árvores, as quais foram cubadas rigorosamente e o seu volume individual foi obtido pelo método de Newton. Sequencialmente, foram ajustados nove modelos volumétricos de simples e dupla entrada, lineares e não lineares.

A Tabela 2 apresenta o ajuste dos estimadores dos modelos para a obtenção do volume total, bem como as estatísticas de ajuste e precisão. Todos os modelos ajustados foram significativos ($p < 0,05$).

Ao analisar a Tabela 2, verifica-se que todos os modelos se ajustaram à base de dados, apresentando Coeficiente de Determinação maiores que 0,97 e Erro Padrão da Estimativa em porcentagem inferior a 10%, exceção são feitas aos Modelos 1 e 2. Estatísticas semelhantes foram encontradas por Miguel (2009), ao ajustar dezesseis modelos volumétricos para obtenção do volume total em povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, nesta ocasião o $Syx\%$ ficou entre 8,72% e 15,0% e R^2 ajustado entre 97% e 99,7%.

Tabela 2 – Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações de volume total ajustadas para povoamentos de *Eucalyptus urograndis* com DAP \geq 5 cm, localizados no Distrito Federal

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	R ² .aj	Syx(m ³)	Syx (%)	AIC	BIC	F
1	-8,6605	2,5201	-	-	0,97	0,099	14,0	974,1	959,1	2513
2	-6,0898	1,7292	-7,0914	-	0,97	0,009	10,9	982,6	963,1	1449
3	0,0011	0,00003	-	-	0,98	0,006	6,9	970,1	948,5	3161
4	-9,9736	2,0453	0,8607	-	0,99	0,007	7,6	981,2	962,2	2529
5	7,2E-05	3,09E-05	-	-	0,98	0,005	6,5	976,1	956,1	7304
6	-0,0031	0,00009	0,00003	0,0002	0,98	0,006	6,9	983,2	964,2	1032
7	5,2E-05	1,9712	0,8871	-	0,98	0,005	6,5	982,1	962,5	4833
8	27149,8	118,757	-	-	0,99	0,005	6,5	969,1	945,9	7261
9	224,094	24517,4	-	-	0,98	0,005	6,5	980,1	960,1	7396

β 's = Coeficientes estimados; R² Aj = Coeficiente de determinação ajustado; AIC = Critério de Akaike; BIC = Critério bayesiano; Syx e Syx% = Erro padrão da estimativa e erro padrão da estimativa em percentagem; F = Valor de F da análise de variância.

Outro resultado semelhante pode ser observado no estudo de Thomas et al. (2006), ao ajustar nove modelos volumétricos para *Pinus taeda*, contudo o R² ajustado variou de 0,93 e 0,99 e o Syx% de 9,05 a 23,25%. Existe um consenso por parte dos pesquisadores no meio florestal, que ao ajustar modelos para obtenção do volume, valores de Coeficiente de Determinação Ajustados superiores a 0,95 e Erro Padrão da Estimativa em percentagem inferior a 10%, são considerados adequados, porém quanto maior o R² e menor o Syx% maior a eficiência e a adequabilidade do modelo.

Ao analisar as estatísticas AIC e BIC, verifica-se uma tendência de menores valores para os modelos com quantidade menores de variáveis, pois ambos os critérios penalizam modelos com muitas variáveis, sendo que valores menores de AIC e BIC são preferíveis.

Os modelos 1 e 2 apresentaram os menores valores de R² ajustado e maiores valores de Syx. Uma possível explicação para esta diferença, quando comparado às demais, é o fato de serem os únicos modelos que tentam explicar o volume em função apenas do diâmetro, os demais entram também a variável altura e suas combinações. Neste tocante, sempre que possível, recomenda-se que ao ajustarem modelos para a obtenção do volume individual de árvores, a variável altura seja inserida ao modelo, com o intuito de melhorar os estimadores da equação, minimizando assim os possíveis vieses e aumentando a precisão.

Segundo Drapper e Smith (1982), Mesmo que todos os estimadores de ajuste sejam bons indicadores para a escolha do melhor modelo, a análise gráfica de resíduos é questão fundamental na escolha de uma equação de regressão aplicada a Ciências Florestais haja vista que erros de tendência podem ocorrer em determinada amplitude de classe da variável independente, sem ser detectados pelas estatísticas que medem a exatidão.

Nas Figuras 3 a 11, observam-se as dispersões dos resíduos em percentagem em função do DAP, mostrando o comportamento dos modelos ajustados em relação ao volume real. Esta estatística mostra quão o modelo é preciso e ao mesmo tempo permite analisar possíveis tendências de superestimativa ou subestimativa na variável de interesse.

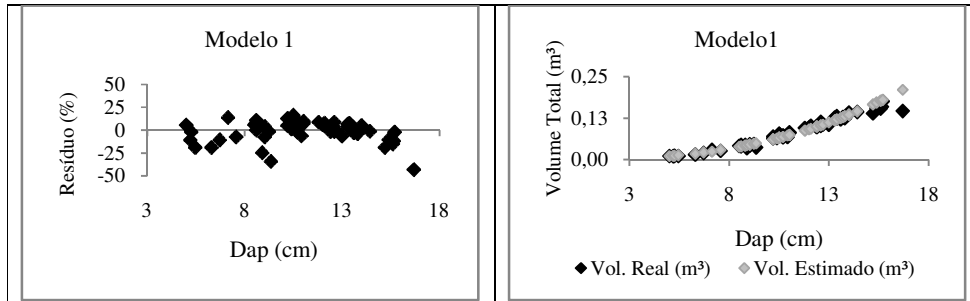


Figura 3 -Distribuição gráfica dos resíduos do Volume Total Estimado em função do DAP para o Modelo 1 ajustado para a estimativa do volume em relação ao volume real para diferentes diâmetros.

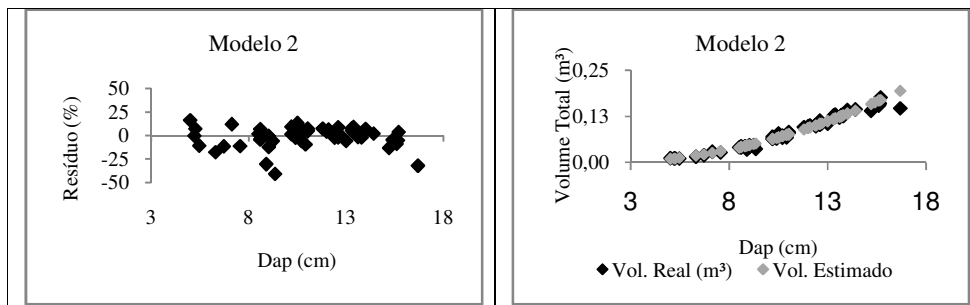


Figura 4 -Distribuição gráfica dos resíduos do Volume Total Estimado em função do DAP para o Modelo 2 ajustado para a estimativa do volume em relação ao volume real para diferentes diâmetros.

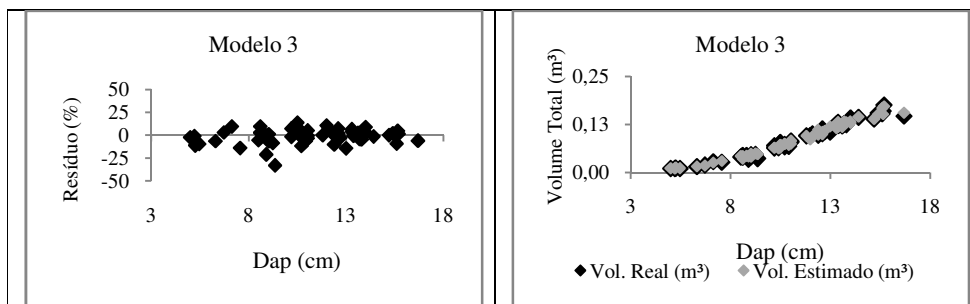


Figura 5 -Distribuição gráfica dos resíduos do Volume Total Estimado em função do DAP para o Modelo 3 ajustado para a estimativa do volume em relação ao volume real para diferentes diâmetros.

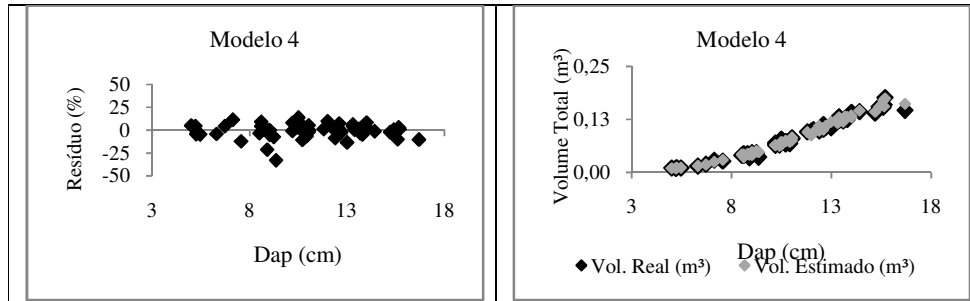


Figura 6 -Distribuição gráfica dos resíduos do Volume Total Estimado em função do DAP para o Modelo 4 ajustado para a estimativa do volume em relação ao volume real para diferentes diâmetros.

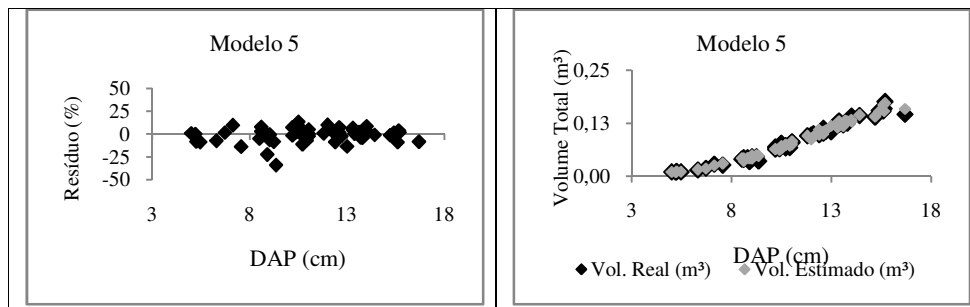


Figura 7 -Distribuição gráfica dos resíduos do Volume Total Estimado em função do DAP para o Modelo 5 ajustado para a estimativa do volume em relação ao volume real para diferentes diâmetros.

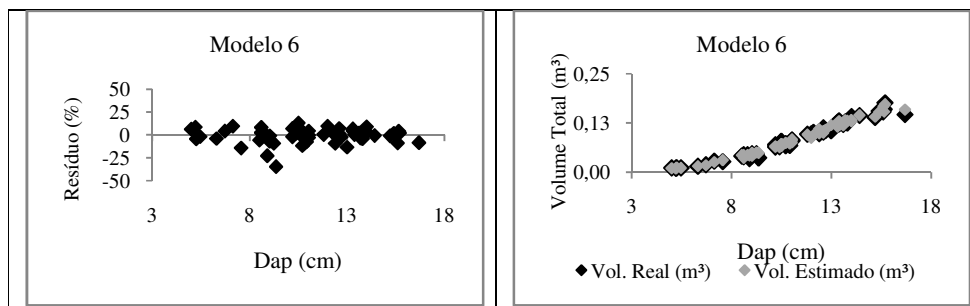


Figura 8 -Distribuição gráfica dos resíduos do Volume Total Estimado em função do DAP para o Modelo 6 ajustado para a estimativa do volume em relação ao volume real para diferentes diâmetros.

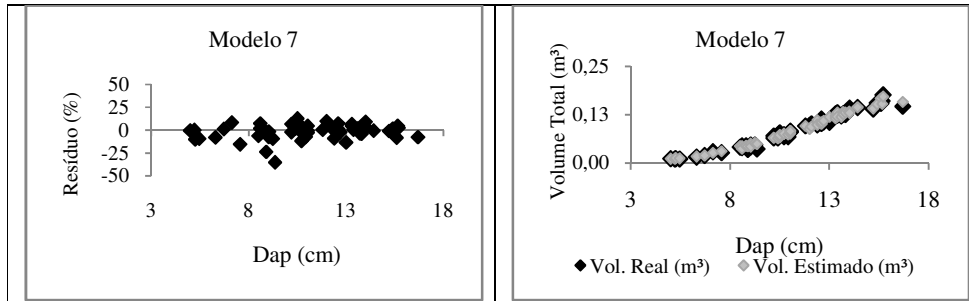


Figura 9 - Distribuição gráfica dos resíduos do Volume Total Estimado em função do DAP para o Modelo 7 ajustado para a estimativa do volume em relação ao volume real para diferentes diâmetros.

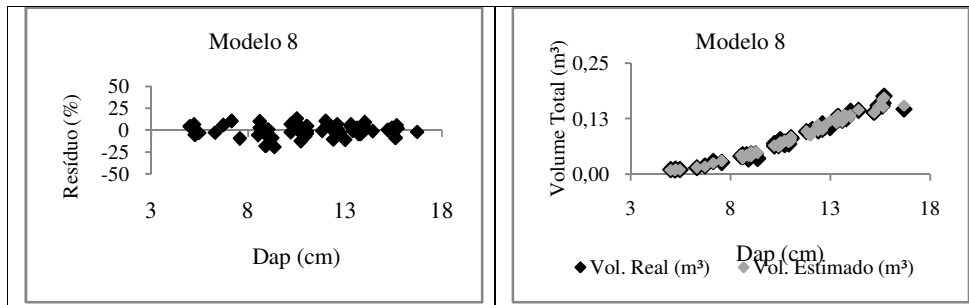


Figura 10 - Distribuição gráfica dos resíduos do Volume Total Estimado em função do DAP para o Modelo 8 ajustado para a estimativa do volume em relação ao volume real para diferentes diâmetros.

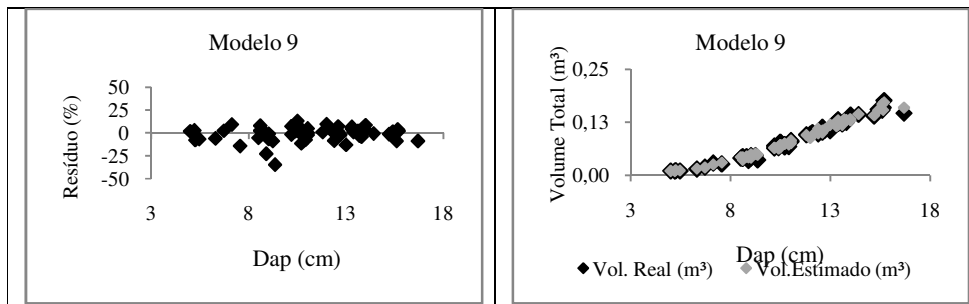


Figura 11 - Distribuição gráfica dos resíduos do Volume Total Estimado em função do DAP para o Modelo 9 ajustado para a estimativa do volume em relação ao volume real para diferentes diâmetros.

Ao analisar as Figuras 3 a 11, que apresentam o gráfico de dispersão dos dados de volume total em relação ao DAP, e com base em critérios estatísticos aplicados a ciência florestal, almeja que a dispersão dos resíduos apresente uma tendência potencial com relação à proporcionalidade de variação do viés de superestimativa e subestimativa da variável estimada. De uma maneira generalizada essa proporcionalidade foi mantida em todos os modelos, com ligeiras tendências principalmente nos Modelos 1 e 2.

Por manter essa ligeira proporcionalidade, os gráficos de resíduos das equações são semelhantes, com pequena tendência de superestimativo volume total em todos os modelos testados, exceção é feita ao Modelo 8. Essa ligeira tendenciosidade é observada de forma mais acentuada nos modelos 1 e 2.

Todavia, em todos os modelos ajustados, o erro de superestimar, ou subestimar o volume total verdadeiro estiveram compreendidos entre 25 a -50%. Também foi possível observar de maneira minuciosa que o modelo 8 apresentou-se ligeiramente mais favorável aos demais. Pois o mesmo apresentou maior homogeneização dos resíduos ao longo da linha de regressão.

Com relação aos gráficos de tendência das linhas de ajuste, observa-se que com exceções das equações 1 e 2 que apresentaram uma tendência linear, claramente vista na estimativa do volume da árvore de maior diâmetro, as demais equações apresentaram flexibilidade de ajustarem aos dados. Como a avaliação gráfica é visual, podendo envolver alguma subjetividade, o modelo 8 foi pré-selecionada.

Quando analisadas as estatísticas que medem a exatidão, de acordo com os critérios de importância, as mesmas levaram a uma ligeira superioridade do referido modelo, pois o mesmo apresenta os menores valores de AIC e BIC, também apresenta um dos mais baixos valores para $Syx\%$, e alto coeficiente de determinação, bem como uma distribuição residual homogênea ao longo da linha de regressão e flexibilidade para ajustarem aos dados, conforme verificado na Figura 2. Deste modo, este modelo se mostrou ligeiramente superior aos demais, tornando-se o mais adequado para estimativa da variável volume total em povoamentos de *Eucalyptus urograndis*, na Região Norte do Estado de Goiás.

Resultados semelhantes a este foram encontrados por Miguel et al. (2010), onde o Modelo 8 mostrou-se superior a todos aos demais modelos testados, para estimar o volume total e comercial de *Eucalyptus grandis*, no município de Rio Verde, no sudoeste de Goiás.

Embora Loetsch et al. (1973), já comentasse da superioridade do modelo 8 quando ajustados para obtenção do volume em áreas florestais, o mesmo vem sendo ajustado de forma discreta. Uma possível explicação pode ser o fato do mesmo ser um modelo não-linear e não passível de linearização, o que implica em uma maior dificuldade de ajuste.

Considerações finais

Com os resultados obtidos, oriundos dos ajustes matemáticos, conclui-se: O volume individual de árvores de *Eucalyptus urograndis*, pode ser obtido com precisão, utilizando

modelos matemáticos, os quais são ferramentas triviais no meio florestal para a quantificação volumétrica. Também, verificou-se que os modelos na qual o volume é explicado pelas variáveis diâmetro e altura, são ligeiramente superiores aos modelos onde apenas o diâmetro é a variável preditora. Todavia, dá gama de modelos ajustados, recomenda-se a utilização do Modelo 8 (Takata) como o mais apropriado para a obtenção do volume individual total em povoamentos de *Eucalyptus urograndis* na Região Norte do Estado de Goiás.

Agradecimentos

A Empresa Anglo American PLC, por todo apoio e logística dada durante a coleta de dados em campo.

MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ONO, H. A.; LEAL, U. A.S. Modeling of individual volume prediction for *Eucalyptus urograndis* plantation. *Rev. Bras. Biom.*, São Paulo, v.32, n4, p.584-598, 2014.

- **ABSTRACT:** *The objective of this study is to adjust and select volumetric models in estimating the individual volume in commercial Eucalyptus urograndis. However, the forest inventory was conducted in a forest stand located in the municipality of Niquelândia / Goiás. Ten (10) random plots of 30x20m were released in total area of 10 hectares, which measured the DAP and height of all individuals of the plots. Cubed by the destructive method was performed in five representative trees in each of the 11 diameter classes, totaling 55 trees, and the volume of each tree was obtained by the Newton method. The data from these nine volumetric models were adjusted. Sequentially models were subjected to analysis based on the statistics of fit and accuracy. The volumetric model Takata was slightly higher making it the most suitable for obtaining individual total volume in the study area.*
- **KEYWORDS:** *Forest inventory; volumetry; cubed; volumetric models*

Referências

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, Boston, v.19, n.6, p.716-723, 1974.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 4.ed. Viçosa, 2006. 605p.
- CRESPO, A. A. *Estatística fácil*. 16.ed. São Paulo: Saraiva. 1998. 207 p.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. New York: John Wiley & Sons. 1981. 407p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412p.
- FINGER, C. A. G. *Distribuição de diâmetros em Acácia negra Acaciamearnsii de Wild, em diferentes povoamentos e idades*. 1982. 129f. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1982.

- GOLDING, D. L. and HALL, O. F. A Test of precision of cubic-foot tree volume equation on Aspen, Jack Pine and White Spruce. *Forest. Choronicle*. Ottawa, v.37, n.2,p.123-132, 1961.
- GOMES, P. F. *Curso de estatística experimental*. 14. Ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 451p.
- HONER, T.G. A new cubic-foot volume function. *Forest Chronicle*, Ottawa, v. 41, p.479-493, 1965.
- HUSCH, B.; MILLER, C.L.; BEERS, T.E. *Forest mensuration*. 3.ed. New York: J. Willey, 1982. 397p.
- HUSCH, B. *Forest mensuration and statistics*. New York, The Ronald Press, 1963.474 p
- LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. *Revista Árvore*, Viçosa, v.26, n.3, p.321-328, 2002.
- LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K. E.; *Forest inventory*. 2.ed. Manchem, BLV. 1973. 479p.
- MACHADO, S.A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. *Ciências Exatas e Naturais*, Curitiba, v.4, n.2, p.185-196, 2002.
- MEYER, H.A.A correction for systematic errors occurring in the application of the logarithmic volume equation. *Forest. School Research*, Pennsylvania, v.7, p.1-15, 1941.
- MIGUEL, E. P. *Avaliação biométrica e prognose da produção de Eucalyptus urophylla (S. T. Blake) na região norte do estado de Goiás*. 2009. 161f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- MIGUEL, E. P.; CANZI, L. F.; RUFINO, R. F.; SANTOS, G. A. Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Rio Verde – GO. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol.6, n.1, p.1-13, 2010.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989. 421p.
- OGAYA, N. *Kubierungs formeln and Best andesmassen formeln*. 1968,85f. Thesis (Forest Science) University Freiburg, Freiburg, 1968.
- PAULA NETO F., BRANDI R. M., RIBEIRO J. C. Teste de aplicação de tabelas volumétricas para estimar a produção e plantações de *Eucalyptus paniculata* Sm. na região de Ipatinga, Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, v.2, n.1, p.154-166, 1977.
- 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, n.67, p.173-181, 2011.
- PEREIRA, W.; TANAKA, O.K. *Estatística: conceitos básicos*. 2. ed. São Paulo: Makron Books. 1990. 371 p.
- SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A.P.; RUZA, M. S.; SIMON. A.; SÃO JOSÉ, J. F. B. Relação hipsométrica em inventários pré-corte em povoamentos de *Acaciamearnsii* De Wild. *Científica*, Jaboticabal, vol.42, n.1, p.80-90, 2013.

- SCHLAAEGEL, B.E. Testing reporting, and using biomass estimation models. In: Southern forest biomass. *Workshop*. 1981. Proceedings . s.1, S.n 1981, p 95-112
- SCHRÖDER, T.; HOFIÇO, N. A. S.; ZIMMERMANN, A. P. L.; PEREIRA, L. D.; ROCHA JÚNIOR, D. S.; MEYER, E. A.; FLEIG, F. D. Métodos de estimativa de volume comercial para *Eucalyptus grandis*: especificidades e recomendações. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v.33, n.73, p.01- 07, 2013.
- SCHWARZ, G. Estimating the dimensional of a model. *Annals Statistics*, Hayward, v.6, n.2, p.461-464, 1978.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, Lahore. v.47, n.9, p.719-734, 1933.
- SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. *Biometria Florestal: medição evolutiva de árvores*. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 310p
- SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. *Biometria florestal: medição, volumetria e gravimetria*. Lavras: UFLA/FAEPE.2004.285p.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete sample) *Biometrika*, Great Britain, v.52, n.3, p.591-611, 1965.
- SPURR, S.H. *Forest inventory*. New York: Ronald Press, 1952. 476p.
- STOATE, I. N. The use of a volume equation in pine stands. *Australian Forestry*, Canberra, v.9, p.48-52, 1945.
- TAKATA, K. Construction of universal diameter-height-curves. *Journal of Japanese Forest Society*, Tóquio, v.40, n.1, p.1-6, 1958.
- THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.16, n.3, p.319-327, 2006.

Recebido em 25.08.2014

Aprovado após revisão em 03.12.2014