AJUSTE DE MODELO HIPSOMÉTRICO PARA POVOAMENTOS DA ESPÉCIE EUCALYPTUS GRANDIS NO ESTADO DO RS

Maiquel Pfeifer [1]

Matheus Teixeira Martins [2]

Gabriel Paes Marangon [3]

Bruna Denardin da Silveira [4]

Resumo:

Nos inventários florestais a variável diâmetro a altura do peito (DAP) é facilmente medida para todas as árvores, porém a altura medida diretamente por instrumentos apropriados fornece resultados acurados, portanto não é uma variável rápida de ser medida. Porém há métodos que facilitam o inventário, diminuindo os custos, o tempo gasto e fazendo estimativas precisas. Um desses métodos é a relação hipsométrica, que estima altura de árvores baseado no DAP já medido. Este método é realizado com a regressão de modelos matemáticos, onde estes são ajustados e selecionado o melhor para estimar a altura da espécie nas condições da área em estudo baseados nos seus resultados estatísticos e análise gráfica da dispersão de resíduos. Com isso o objetivo deste trabalho foi de ajustar e selecionar o melhor modelo para estimar altura de árvores da espécie Eucalyptus grandis W. Hill em relação ao diâmetro de povoamentos no estado do Rio Grande do Sul. O banco de dados do estudo era de parcelas permanentes de 30x20 m e diferentes espaçamentos, com idades de 4 a 27 anos em diferentes povoamentos no estado do Rio Grande do Sul. Foram testados 5 modelos com o uso do software Excel pela ferramenta de análise denominada regressão. O modelo selecionado como o melhor para a espécie e condições da área em estudo não foi encontrado como o melhor por outros autores trabalhando com o gênero Eucalyptus, porém para outros gêneros como Araucária, Acácia e Pinus o modelo selecionado se mostrou eficiente.

Palavras-chave: Regressão, inventário, mensuração florestal, biometria florestal.

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

AJUSTE DE MODELO HIPSOMÉTRICO PARA POVOAMENTOS DA ESPÉCIE EUCALYPTUS GRANDIS NO ESTADO DO RS

[1] Aluno de graduação. maiquelpffr@gmail.com. Autor principal

[2] Aluno de garduação. mteixeiramartins@gmail.com. Co-autor

[3] Docente. gabrielmarangon@unipampa.edu.br. Orientador

[4] Docente. brunadenardin@unipampa.edu.br. Co-orientador

AJUSTE DE MODELO HIPSOMÉTRICO PARA POVOAMENTOS DA ESPÉCIE *Eucalyptus grandis* W. Hill NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

1 INTRODUÇÃO

Em inventários florestais, a variável DAP é facilmente medida para todas as árvores, já a altura, quando medida de modo direto por meio de instrumentos apropriados fornece resultados acurados, porém não é uma variável rápida de ser medida, sendo geralmente estimada, pelo menos em parte, de forma indireta. Os pares de valores obtidos de diâmetros e respectivas alturas são usados para estabelecer a chamada relação hipsométrica, a qual é empregada para estimar as alturas das demais árvores em função dos diâmetros já medidos. Logo, estima-se a variável de difícil obtenção em função de mais fácil e rápida medição, reduzindo-se, portanto, o tempo e custos de mensuração (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003; SANQUETTA et al., 2009 apud CALDEIRA et al., 2002). Relação hipsométrica é a regressão de altura em função do diâmetro em um povoamento em uma determinada data (SCHMIDT, 1997). A relação diâmetro/altura tem sido bastante estudada por diversos pesquisadores, através de um grande número de modelos matemáticos, os quais se mostram, ser mais ou menos eficientes em função da composição do povoamento e qualidade do sítio (SCHMIDT, 1977 apud CALDEIRA et al., 2002). A relação hipsométrica é influenciada pela idade, sítio, densidade, tamanho da copa e espécie (LOETSCH et al., 1973; HUSCH et al., 1982; FINGER, 1992; SCOLFORO, 1999 apud CALDEIRA et al., 2002).

A estimação de estoques de crescimento e de colheita é importante elemento no manejo florestal, uma vez que fornece informações quantitativas sobre a floresta, auxiliando na definição de planos de manejo e em análises econômicas de prescrições de manejo. A quantificação do estoque volumétrico é realizada por meio de inventários florestais contínuos ou temporários. Ambos consistem basicamente na medição de amostras representativas da população, constituída pelas unidades de amostra (parcelas) (BINOTI; BINOTI; LEITE, 2013). Uma das alternativas para a estimativa da altura tem sido o uso de modelos hipsométricos (SCOLFORO, 2005; CAMPOS; LEITE, 2013). Estudos voltados, a modelagem, procedimentos e equipamentos para a mensuração da altura de árvores são importantes, devido esta variável ser considerada um componente significativo no custo do inventário florestal (CAMPOS; LEITE, 2013; BINOTI et al., 2013 apud VENDRUSCOLO et al., 2017).

Em relação a espécie estudada, o *Eucalyptus grandis* W. Hill ocorre naturalmente na Austrália, ao norte do estado de New South Wales, ao sul e norte de Queensland, em áreas de altitude (300 a 900 m), onde a precipitação pluviométrica varia de 1.000 a 1.700 mm, predominantemente no verão. Pode atingir 75 m de altura e 3 m de dap, com madeira leve e fácil de ser trabalhada. Sendo bastante utilizada na Austrália e na república Sul Africana, como madeira de construção, quando oriunda de plantações de ciclo longo. A madeira produzida em ciclos curtos é utilizada para caixotaria. Plantações, convenientemente manejadas, podem produzir madeira excelente para serraria e laminação (FERREIRA, 1979). A madeira de Eucalipto oriunda dos ciclos reduzidos é atualmente utilizada em sua maioria, para a produção de celulose, deixando o Brasil entre os maiores produtores mundiais, com 5,7 milhões de hectares de florestas plantadas, segundo IBÁ (2017).

Neste contexto o objetivo deste trabalho foi ajustar e selecionar o melhor modelo hipsométrico para estimativa de altura de árvores da espécie *Eucalyptus grandis* W. Hill em relação ao diâmetro de povoamentos no estado do Rio Grande do Sul.

2 METODOLOGIA

Foram utilizados dados de povoamentos referentes a espécie *Eucalyptus grandis* W. Hill, todos localizados no estado do Rio Grande do Sul, nas mesorregiões Centro Oriental Rio-grandense, que engloba as microrregiões: Santa Cruz do Sul, Lajeado, Estrela e Cachoeira do Sul e Metropolitana de Porto Alegre, que engloba as microrregiões: Lagoa dos Patos, Montenegro, Gramado, Canela, Porto Alegre, Osório e Camaquã.

O clima da região, do estudo, de acordo com a classificação climática de Köppen é do tipo Cfa, ou temperado úmido, com temperatura média do mês mais quente em torno de 25,1ºC, temperatura média do mês mais frio em torno de 14,1ºC, e a precipitação média anual da ordem de 1699 mm (MORENO, 1961).

Os solos da área pertencem à unidade de mapeamento Rio Pardo, os quais são profundos, de coloração avermelhada em toda a extensão do perfil, argilosos, bem drenados e derivados de siltitos finos da Formação Rio Pardo. Apresentam limitações pela fertilidade natural que é baixa, sendo fortemente ácidos, com saturação de bases baixa, relativamente pobres em nutrientes, com teores de alumínio trocável ponderável (LEMOS et al., 1973).

O banco de dados formado para o presente estudo foi advindo de parcelas permanentes de 30 x 20m e cubagens das árvores médias dos povoamentos implantados com diferentes espaçamentos iniciais de: 1,0m X 1,5m; 3,0m x 1,7m; 2,3m X 2,3m; 2,0m X 2,0m, dentre outros, em sua maioria considerados reduzidos com uma abrangência de idade dos 4 aos 27 anos, dependendo dos povoamentos amostrados das parcelas permanentes. Para a modelagens dos dados, referentes a relação Altura (h) tomada da base ao ápice da árvore X Diâmetro a altura do peito (d), ou seja, medido a 1,30 m do solo, foram utilizados 714 pares de dados.

Foram testados 5 modelos hipsométricos (Tabela 1), para modelagem dos dados de relação h x d, os modelos foram ajustados com uso do *software* Excel 2016 pela ferramenta de análise denominada regressão.

Tabela 1 - Modelos testados para estimar altura de *Eucalyptus grandis* em povoamentos florestais localizados em duas microrregiões no estado do Rio Grande do Sul.

Número	**Modelos**
1	$h=\beta_0+\beta_1 \cdot d+\beta_2 \cdot d^2$
2	$\ln h=\beta_0+\beta_1 \cdot \ln d$
3	$h=\beta_0+\beta_1 \cdot d+\beta_2 \cdot (1/d)$
4	$h=\beta_0+\beta_1 \cdot (1/d)+\beta_2 \cdot d^2$
5	$\ln h=\beta_0+\beta_1 \cdot \sqrt{d}$

Em que: h = Altura, em m; d= Diâmetro a altura do peito, em cm; β_0, β_1 e β_2= Coeficientes do modelo e ln =Logaritmo neperiano.

Para comparação das estimativas obtidas entre os modelos, os critérios utilizados foram o de análise de: coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.), erro padrão da estimativa (Syx), índice de Furnival (IF), valor da estatística F (F) e análise gráfica da dispersão dos resíduos.

Para escolha do melhor modelo hipsométrico, foi seguido o critério proposto por Thiersch (1997), onde se atribui pesos aos resultados estatísticos, sendo a designação do melhor modelo feita pela somatória dos escores, valores de 1 a n, onde a menor soma dos escores indica a seleção da equação.

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise estatística e escores estatísticos dos modelos ajustados para estimar a variável dependente altura (h) em relação a variável independente diâmetro a altura do peito (d) referente as árvores avaliadas da espécie *Eucalyptus grandis* que tangem todo o conjunto de dados da área em estudo.

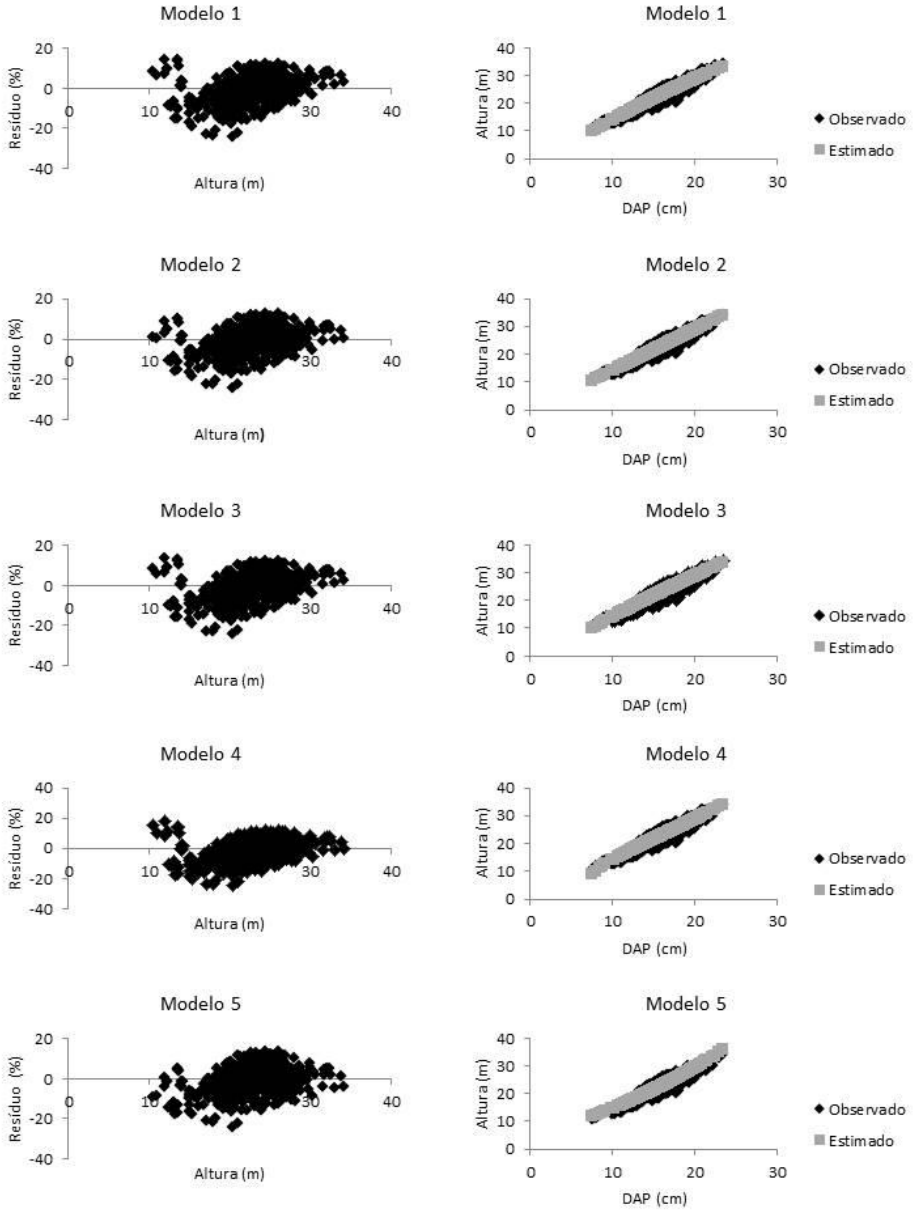
Tabela 2 - Resultado da análise estatística e escores estatísticos dos modelos ajustados para *Eucalyptus grandis* em duas microrregiões do estado do Rio Grande do Sul.

Modelo	R^2 aj. (Peso)	Syx (Peso)	IF (Peso)	F (Peso)	∑
1	0,872 (3)	1,326 (3)	1,849 (1)	2434 (3)	**10**
2	0,883 (1)	0,059 (1)	2,269 (4)	5412 (1)	**7**
3	0,871 (4)	1,329 (4)	1,853 (2)	2422 (4)	**14**
4	0,869 (5)	1,340 (5)	1,868 (3)	2377 (5)	**18**
5	0,876 (2)	0,061 (2)	2,340 (5)	5043 (2)	**11**

Em que: R^2 aj.= coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; IF = índice de Furnival; F = valor da estatística F ∑= soma dos escores estatísticos.

Os valores de R^2 aj. obtidos para os modelos ajustados são bem próximos, sendo o melhor o resultado o do modelo 2 com 0,883 e pior resultado do modelo 4 com 0,869, portanto uma diferença de 0,014 entre melhor e pior modelo. Os resultados de IF são bem semelhantes entre todos os modelos, tendo como melhor resultado o modelo 1 com 1,849 e o pior modelo foi o 5 com 2,340, é observado que neste parâmetro o melhor e pior modelo foram diferentes em relação aos outros parâmetros. Os resultados do valor da estatística F voltaram a ter como melhor e pior modelo o 2 e 4 respectivamente. De acordo com o resultado dos pesos estatístico obtidos com análise, o melhor modelo é o número 2, com a menor soma de escores. Além disso com a análise gráfica da dispersão de resíduos, apresentada na Figura 1, é possível observar que não houve ocorrência de tendências com dispersão uniforme em torno da média e semelhante para todos os modelos ajustados.. Porém o modelo 2 apresentou o menor escore estatístico sendo determinado como o melhor para estimar a altura da espécie estudada nas condições apresentadas. Para complementar esta análise foram feitos gráficos com altura observada em relação ao DAP e traçada uma linha sobre a nuvem de pontos de altura observada, com os valores de altura estimados.

Figura 1 - Distribuição dos resíduos e valores observados e estimados pelos modelos ajustados para relação altura x diâmetro para a espécie *Eucalyptus grandis* em duas microrregiões do estado do Rio Grande do Sul



Os gráficos de dispersão de resíduos são bastante semelhantes, comprovando o que é apresentado na Tabela 2, os maiores valores residuais enquadraram-se entre 10,33 e -24,11 para o modelo 2, determinado como o melhor modelo e 18,07 e -23,97 para o modelo 4, que foi o que apresentou os piores resultados estatísticos. Nos gráficos de altura observada e estimada em relação ao diâmetro, é comprovado a eficiência do modelo 2 em estimar altura para a espécie em estudo, cobrindo uma boa quantidade da nuvem de pontos de alturas observadas.

Rufino et al. (2010), em um trabalho realizado em povoamento de *Eucalyptus urophylla* sobre o sistema de rebrota, determinou o modelo 1 como o melhor para estimar a altura das árvores, diferente do que é foi observado neste trabalho.

Machado et al. (2008) em um trabalho utilizando *Araucaria angustifólia* determinou o modelo 2 como o melhor modelo.

Para o gênero *Eucalyptus* é visto um modelo diferente do determinado, além da referência citada existem outros trabalhos que também mostram modelos diferentes,

provavelmente devido as condições da área de estudo, porém o modelo é bem utilizado para outros gêneros além do citado, como *Acacia* e *Pinus*.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo 2 foi ajustado e escolhido como o melhor modelo para estimar altura de *Eucalyptus grandis* nas condições do referido estudo.

REFERÊNCIAS

BINOTI, Mayra Luiza Marques da Silva; BINOTI, Daniel Henrique Breda; LEITE, Helio Garcia. **Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto.** 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n4/07.pdf>. Acesso em: 04 set. 2018.

BRASIL. IBÁ. . **Relatório anual 2017.** 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 04 set. 2018.

CALDEIRA, Marcos Vinicius Winclker et al. **Relação Hipsométrica para Acacia mearnsii com Diferentes Idades.** 2002. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/33611/1/pag57-68.pdf>. Acesso em: 04 set. 2018.

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

FERREIRA, M. **Escolha de Espécies de Eucalipto**. Piracicaba: Esalq – USP, 1979. 30p. (Circular Técnica IPEF).

LEMOS, R. C. et al. **Levantamento e reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuárias - Divisão de Pesquisas Pedológicas, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).

MACHADO, Sebastião do Amaral et al. **Comportamento da relação hipsométrica de Araucaria angustifolia no capão da Engenharia Florestal da UFPR.** 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/44379/1/1_S_A_Machado2.pdf>. Acesso em: 04 set. 2018.Acesso em: 04 set. 2018.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Agricultura, 1961. 41p.

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. 352 p.

RUFINO, Rogério Fernando et al. **Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucaliptos sobre o sistema de rebrota.** 2010. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010b/ajuste.pdf>. Acesso em: 04 set. 2018.

THIERSCH, A. **A eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de Eucalyptus camaldulensis**. 1997. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

VENDRUSCOLO, Diogo Guido Streck et al. **Estimativa da altura de árvores de Tectona grandis L.f. utilizando regressão e redes neurais artificiais.** 2017. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/3738>. Acesso em: 04 set. 2018.