



APLICAÇÃO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA ESTIMAÇÃO DO VOLUME DE ÁRVORES DE EUCALIPTO

Nataly Celestino Gama¹, Amanda Fernandes de Oliveira², Ana Carolina Limiro da
Silva², Milena Gonçalves Oliveira², Lívia Thais Moreira de Figueiredo², Raiana
Arnaud Nava¹, Deivison Venicio Souza¹, Marlon Costa de Menezes¹

1 Universidade Federal do Pará, Altamira, PA, Brasil. E-mail: natalygama28@gmail.com; raianaarnaud@gmail.com; deivisonvs@ufpa.br; menezesmarlon@gmail.com

2 Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil. E-mail: fernandes_amanda@discente.ufg.br; limirosilva@discente.ufg.br; milena.golv@discente.ufg.br; liviafigueiredo@ufg.br

Autora correspondente: Ana Carolina Limiro da Silva. E-mail: limirosilva@discente.ufg.br.

RESUMO

Devido à preocupação com a pressão sobre as florestas nativas da região Amazônica para o abastecimento do setor madeireiro, o reflorestamento com espécies de rápido crescimento como o eucalipto, torna-se uma alternativa viável, sendo necessário o aumento em análises qualitativas e quantitativas, como estimativas de estoque de crescimento comumente expressas em termos de volume. Desta forma, o objetivo deste estudo foi analisar a aplicação de Redes Neurais Artificiais na estimação do volume de árvores de eucalipto em áreas de plantio da região de Monte Dourado, no estado do Pará. Os dados do presente estudo são oriundos de plantios clonais não desbastados de híbridos de *E. grandis* W. Hill ex Maiden e *E. urophylla* S.T. Blake, onde foram mensurados a circunferência (CAP em cm, a 1,30 m do solo), e altura total (H em m) de 9 árvores de cada parcela por ano. Foram avaliadas as projeções volumétricas obtidas por meio do modelo de Clutter em comparação com as Redes Neurais Artificiais (RNAs). As RNAs foram eficientes para estimar o volume, o que foi constatado por meio das estatísticas de avaliação (erro médio percentual (BIAS (%)), raiz quadrada do erro médio (RQEM (%)), e coeficiente de correlação ($r_{y,y}$).

Palavras-chave: Mensuração; plantios clonais não desbastados; projeções volumétricas

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN VOLUME ESTIMATION OF EUCALYPTUS TREES

ABSTRACT

*Due to the concern with the pressure on the native forests of the Amazon region to supply the timber sector, reforestation with fast-growing species such as eucalyptus, becomes a viable alternative, requiring an increase in qualitative and quantitative analysis, such as estimates of growth stocks commonly expressed in terms of volume. Thus, the objective of this study was to analyze the application of Artificial Neural Networks in estimating the volume of eucalyptus trees in planting areas in the region of Monte Dourado, in the state of Pará. The data in this study come from non-thinned clonal plantings of hybrids of *E. grandis* W. Hill ex Maiden and *E. urophylla* S.T. Blake, where the circumference (C in cm, at 1.30 m above the ground) and total height (H in m) of 9 trees in each plot per year were measured. The volumetric projections obtained through the Clutter model were evaluated in comparison with Artificial Neural Networks (ANNs). The ANNs are efficient to estimate the volume, which was verified through the evaluation statistics (mean percentage error (BIAS (%)), square root of the mean error (RQEM (%)), and correlation coefficient ($r_{y,y}$).*

Key words: Measurement; volumetric projections; non-thinned clonal plantings

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

Devido à pressão sobre as florestas nativas da região Amazônica para o abastecimento do setor madeireiro, o reflorestamento com espécies de rápido crescimento como o eucalipto, torna-se uma alternativa viável, e as análises qualitativas e quantitativas, como estimativas de crescimento em termos de volume, por exemplo, são necessárias para o fornecimento de informações o manejo sustentável desses plantios. Os modelos de crescimento e produção florestal são frequentemente utilizados para simular a dinâmica natural de um povoamento e prever a sua produção ao longo do tempo. Em plantios de eucalipto, o ideal é a utilização de equações específicas por clone ou espécie, espaçamento, classe de idade e regime de corte (Binoti *et al.*, 2014).

Um dos modelos para expressar o volume de madeira de forma menos tendenciosa é o proposto por Schumacher & Hall (1933) (Leite & Andrade, 2002; Campos & Leite, 2017). No entanto, a aplicação de Redes Neurais Artificiais tem se tornado uma alternativa viável para a representação das relações não lineares por apresentar resultados mais precisos na estimação da produção florestal. Uma Rede Neural Artificial (RNA) é um processador constituído de unidades de processamento simples (neurônios artificiais) que calculam determinadas funções (Binoti, 2010).

Alguns fatores fazem com que as RNA apresentem maior desempenho, como: podem modelar diversas variáveis e suas relações não-lineares, são tolerantes a falhas e ruídos, possibilitam modelagem com variáveis categóricas (qualitativas) e numéricas (quantitativas). Tornando-se uma alternativa relevante em relação às tradicionais.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi analisar a aplicação de Redes Neurais Artificiais na estimação do volume de árvores de eucalipto em áreas de plantio da região de Monte Dourado, no estado do Pará.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados do presente estudo são oriundos de plantios clonais não desbastados de híbridos de *E. grandis* W. Hill ex Maiden e *E. urophylla* S.T. Blake (*E. urograndis*), provenientes de uma empresa do setor florestal, com sede no distrito do município de Almeirim, no estado do Pará. Com características da região com clima do tipo Equatorial Quente Úmido e temperatura média mensal de 26°C, com solo caracterizado como Latossolo Amarelo (Jari Celulose, 2009).

Os plantios foram realizados no ano de 2011, e as medições das parcelas permanentes efetuadas anualmente entre os anos de 2013 e 2017, adotando, assim, somente os dados de árvores que tivessem cinco medições. Foram utilizados dados de 38.072 indivíduos subdivididos em 593 parcelas circulares com dimensão de 500 m², onde foram mensurados: a circunferência (C em cm, à 1,30 m de altura do solo), e altura total (H em m) de 9 árvores de cada parcela por ano, sendo as 3 maiores em termos de diâmetro selecionadas como Hd (altura

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

dominante). Os dados dispõem também de informações como a idade (variando de 24 a 72 meses), tipo de solo e seis arranjos espaciais: 3,0 m x 2,0 m, 3,0 m x 3,0 m, 3,5 m x 1,7 m, 3,5 m x 2,0 m, 3,5m x 2,6 m, 6,0 m x 1,5 m (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos valores médios de diâmetro a 1,30m de altura do solo (D), altura total (H) e número de parcelas por espaçamento

Espaçamento	D (cm)	Ht (m)	Número de parcelas
3,0 m x 2,0 m	12,31	20,08	182
3,0 m x 3,0 m	12,10	19,45	178
3,5 m x 1,7 m	10,82	16,05	14
3,5 m x 2,0 m	12,06	19,21	154
3,5 m x 2,6 m	12,87	19,58	44
6,0 m x 1,5 m	12,88	19,22	21

Para as estimativas de altura do povoamento os modelos de Gompertz não linear (por espaçamento), e Schumacher linear (por parcela) foram avaliados. Já para a classificação da capacidade produtiva foi utilizado o método da Curva-guia e os índices obtidos foram usados nos cálculos do volume [V ($m^3 ha^{-1}$)] por meio do ajuste do modelo em nível de povoamento de Clutter (Campos & Leite, 2017).

Para a estimativa do volume [V ($m^3 ha^{-1}$)] por meio de RNA foram utilizadas as variáveis qualitativas (solo e espaçamento) e quantitativas (Área Basal ($G m^2 ha^{-1}$), Índice de local (S) e Idade. Foram treinadas quatro redes do tipo Perceptrons de Múltiplas Camadas (MLP), que consistem em duas camadas de neurônios artificiais que processam os dados (camada intermediária e camada de saída) e uma camada de neurônios artificiais que apenas recebem os dados (camada de entrada) e direciona-os à camada intermediária (Binoti *et al.*, 2013). O algoritmo de aprendizado utilizado foi o *Resilient Propagation*, e a função de ativação foi do tipo sigmoidal.

A melhor RNA foi selecionada com base nas seguintes estatísticas: BIAS (%); raiz quadrada do erro médio (RQEM (%)); $r_{\hat{y},y}$ (coeficiente de correlação entre as variáveis \hat{Y} estimadas e observadas) e a distribuição gráfica dos resíduos. A rede que apresentou melhores estimativas na validação foi comparada com as estatísticas obtidas pelo ajuste do modelo de Clutter.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de Schumacher ajustado por parcela apresentou melhor ajuste para estimativa da altura das árvores do povoamento, com os coeficientes de determinação variando de 0,45% a 0,93%, apresentando todos os valores dos coeficientes de regressão significativos pelo teste “t” a 5% de significância, e boa distribuição pela análise gráfica de resíduos.

O ajuste do modelo em nível de povoamento de Clutter apresentou coeficientes de variação iguais a 0,9331 e 0,9788 para as equações que estimam área basal e volume respectivamente. Todos os coeficientes foram estatisticamente significativos pelo teste t a 5% de significância (Tabela 2).

O modelo de Clutter estimou com precisão as áreas basais e volumes em idade futuras (G_2 e V_2), observado pelos valores de BIAS (%), RQEM (%), e pela alta correlação entre valores

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

observados e estimados de área basal e volume (Tabela 3), além de boa distribuição de resíduos evidenciando a eficiência do ajuste das equações. Também, em outros trabalhos, é relatado o bom desempenho do modelo em ajuste para plantios de eucalipto (Salles *et al.*, 2012; Azevedo *et al.*, 2016).

Tabela 2. Estimativas dos coeficientes da regressão para área basal e volume, e estatísticas do ajuste do modelo de Clutter

Estatísticas	Área Basal ($m^2 ha^{-1}$)		Volume ($m^3 ha^{-1}$)			
	a_0	a_1	b_0	b_1	b_2	b_3
Estimativas dos parâmetros	2,9285	0,0169	1,6266	-11,3791	0,0247	1,0794
Teste t	42,8680	6,1952	86,6528	-32,2476	35,4379	170,0065
Coefficiente de determinação (R^2)	0,9331		0,9788			

Tabela 3. Estatísticas de precisão do ajuste do modelo de Clutter

Variáveis	BIAS (%)	RQEM (%)	$r_{\hat{y},y}$
Área basal ($m^2 ha^{-1}$)	1,2793	6,2371	0,98
Volume ($m^3 ha^{-1}$)	1,6854	8,4464	0,97

Em que: BIAS = erro médio percentual; RQEM = raiz quadrada do erro médio

No processo de validação, os valores de bias (%) e RQEM (%) foram mais altos do que no ajuste, porém, ainda representando boa precisão, uma vez que ambos devem ser baixos ou próximos de 0. Quanto à correlação, os coeficientes foram significativos, com sinais coerentes, e foram ainda maiores do que os valores referentes ao ajuste (Tabela 4). A distribuição gráfica de resíduos demonstrou tendência em superestimar tanto os valores de área basal quanto de volume.

Tabela 4. Estatísticas de precisão da validação do modelo de Clutter

Variáveis	BIAS (%)	RQEM (%)	$r_{\hat{y},y}$
Área Basal ($m^2 ha^{-1}$)	6,4364	8,0912	0,99
Volume ($m^3 ha^{-1}$)	4,8655	7,8758	0,97

Em que: BIAS = erro médio percentual; RQEM = raiz quadrada do erro médio; $r_{\hat{y},y}$ = coeficiente de correlação entre as variáveis Y estimadas e observadas

Com relação às redes neurais artificiais, houve bom desempenho no processo de treinamento, constatado pelos valores de correlação ($r_{\hat{y},y}$), bias (%) e RQEM (%). Os valores de BIAS (%) e RQEM (%) apresentaram valores abaixo de 1% e próximos de 0, com os menores resultados da rede 1 e rede 2, respectivamente (Tabela 5). A análise de resíduos do treinamento mostrou boa distribuição para as redes 1, 3 e 4, e pior para a rede 2, que apresentou maior tendenciosidade em subestimar e superestimar os valores.

Tabela 5. Características e precisão das RNAs utilizadas para estimar volume ($m^3 ha^{-1}$)

Redes	Arquitetura	Treinamento			Generalização		
		BIAS (%)	RQEM (%)	$r_{\hat{y},y}$	BIAS (%)	RQEM (%)	$r_{\hat{y},y}$
RNA 1	27-8-1	0,0177	5,1892	0,99	3,2108	6,0361	0,98
RNA 2		-0,0284	4,6986	0,99	2,8909	6,8049	0,97
RNA 3		-0,0721	5,5480	0,99	4,0218	7,3513	0,97
RNA 4		-0,0459	5,1300	0,99	3,5022	6,9920	0,97

Em que: BIAS = erro médio percentual; RQEM = raiz quadrada do erro médio; $r_{\hat{y},y}$ = coeficiente de correlação entre as variáveis Y estimadas e observadas

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

No processo de generalização, que é a capacidade de uma rede neural produzir saídas adequadas para entradas que não estavam presentes durante o treinamento (Binoti *et al.*, 2014), a rede 1 foi a que apresentou maior correlação e menor valor de RQEM (%), e a rede 2, o menor valor de BIAS (%). Na análise gráfica de resíduos a rede 2 foi a que apresentou melhor desempenho, enquanto as demais, apresentaram tendências em subestimar ou superestimar alguns valores.

CONCLUSÃO

Os resultados desse estudo comprovaram a eficiência das redes neurais artificiais na estimativa do volume. A rede 2 foi a que apresentou melhor desempenho nos processos de treino e generalização, constatado por meio das estatísticas de avaliação (erro médio percentual (BIAS (%)), raiz quadrada do erro médio (RQEM (%)), coeficiente de correlação (r^2), e distribuição gráfica de resíduos).

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo Jari Celulose pelo fornecimento do banco de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, G. B.; Oliveira, E. K. B.; Azevedo, G. T. O. S.; Buchmann, H. M.; Miguel, E. P.; Rezende, A. V. Modelagem da produção em nível de povoamento e por distribuição diamétrica em plantios de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p.383-392, 2016. <https://doi.org/10.18671/scifor.v44n110.11>.
- Binoti, D. H. B.; Binoti, M. L. M. S.; Leite, H. G.; Silva, A. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p.125-129, 2013. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i1a2209>.
- Binoti, M. L. M. S.; Binoti, D. H. B.; Leite, H. G.; Garcia, S. L. R.; Ferreira, M. Z.; Rode, R.; Silva, A. A. L. Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Revista Árvore**, v.38, n.2, p.283-288, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000200008>.
- Binoti, M. L. M. S. 1986 - **Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/3030>. Acesso em: 15 Jul. 2023.
- Campos, J.C.C.; Leite, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5.ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 636p.
- Jari Celulose. **Avaliação do manejo florestal das plantações da Jari Celulose S.A.** Monte Dourado: Jari Celulose S.A., 2009. 22p.
- Leite, H. G.; Andrade, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, v. 26, n. 3, p.321-328, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000300007>.
- Salles, T. T.; Leite, H. G.; Oliveira Neto, S. N.; Soares, C. P. B.; Paiva, H. N.; Santos, F. L. Modelo de Clutter na modelagem de crescimento e produção de eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p.253-260, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000200014>.