II Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER - PDVAgro 2017

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA ESTIMATIVA DO VOLUME INDIVIDUAL DE ÁRVORES DE UM HÍBRIDO DE EUCALIPTO, NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA

Apresentação: Comunicação Oral

Ernandes Macedo da Cunha Neto¹; Bianca Pereira Cantão²; Danielly Moraes Callegari³; Débora Monteiro Gouveia⁴; Jonas Elias Castro da Rocha⁵

Resumo

Redes neurais artificiais (RNA's) são sistemas computacionais paralelos (camadas) constituídos de várias unidades de processamento simples (neurônios artificiais) conectadas entre si de maneira específica para execução de determinada tarefa. Essas redes emergiram como alternativa aos modelos de regressão para estudar o volume de madeira, pois as redes possuem maior e melhor aplicação além de diminuir a quantidade de amostras analisadas. Visando aumentar a precisão das estimativas de volume e reduzir os custos no inventário florestal, este trabalho teve como objetivos propor, construir e validar um modelo de estimação do volume de árvores em um povoamento clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake por meio da utilização de redes neurais artificiais. O estudo foi realizado em um plantio clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake localizado na Fazenda Catedral (Grupo Concrem), no município de Paragominas/PA. Foram abatidas e cubadas 223 árvores com amostragem seletiva no ano de 2016, distribuídas em 90 talhões com idades variando de 2 a 5 anos. Foram treinadas e validadas vinte redes no software R-Project, de modo que estas são do tipo perceptrons de múltiplas camadas, também conhecida como Multilayer Perceptron (MLP). Das vinte redes treinadas foram selecionadas as cinco melhores redes baseado no maior valor de correlação existente entre o volume observado e o volume previsto tendo na camada de entrada as variáveis baseadas no modelo volumétrico de Stoaate. Todas as cinco redes selecionadas apresentaram uma alta precisão sobre volumes observados e volume previsto. A rede 5 que possui a função de ativação logística, com seis neurônios em sua camada intermediária foi a que obteve o maior valor de coeficiente de correlação entre os valores estimados e observados sendo de 0,9754 e com o menor resultado de RMSE de 8,8140. Pelo teste de qui-quadrado as RNA's não apresentaram diferença significativa, onde os melhores resultados encontrados foram das redes cinco, quatorze e dezenove. Sendo aceita a hipótese de que os modelos selecionados são válidos e confiáveis para a estimativa individual de volume de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. A rede neural artificial MLP 2-6-1 (Rede 5) foi considerada satisfatória e, portanto, pode ser utilizada como uma alternativa para a estimativa do volume individual de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake com casca, no município de Paragominas, Estado do Pará.

¹Engenharia florestal, Universidade Federal Rural da Amazônia, netomacedo9@hotmail.com

²Bacharel em engenharia florestal, Universidade Federal Rural da Amazônia, biancacantao2@hotmail.com

³Bacharel em engenharia florestal, Universidade Federal Rural da Amazônia, dani.callegari@hotmail.com

⁴ Mestre em Ciências de Florestas Tropicais, Secretária de Estado Meio Ambiente e Sustentabilidade, deboramgouveia@yahoo.com.br

⁵Mestre em ciências florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia, jonasufra@yahoo.com.br

Palavras-Chave: Alternativa, Multilayer perceptron, Precisão, Reduzir custos, R-Project.

Introdução

As redes neurais artificiais (RNA's) são sistemas computacionais paralelos (camadas) constituídos de várias unidades de processamento simples (neurônios artificiais) conectadas entre si de maneira específica para execução de determinada tarefa, sendo compostas por camadas de entrada, conexões, camadas intermediárias e uma camada de saída (HAYKIN, 2001).

De modo geral, uma rede neural artificial é uma máquina projetada para modelar, ou seja, funciona semelhante ao cérebro, uma tarefa ou função de interesse, capaz de armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para uso. Uma RNA terá seu bom desempenho, em função da interligação maciça de suas unidades de processamento, neste caso, dos neurônios artificiais (HAYKIN, 2001).

Essas redes emergiram como alternativa aos modelos de regressão para estudar o volume de madeira, pois as redes possuem maior e melhor aplicação além de diminuir a quantidade de amostras analisadas (HAYKIN, 2001; DIAMANTOPOULOU, 2005; BINOTI *et al.*, 2013). Em muitos casos, as RNA's têm apresentado desempenho superior aos modelos de regressão devido aos seguintes fatores: estrutura maciça e paralelamente distribuída (camadas), habilidade de aprender e generalizar, que as tornam capazes de resolver problemas complexos, são tolerantes a falhas e ruídos, podem modelar diversas variáveis e suas relações não lineares, possibilidade de modelagem com variáveis qualitativas e quantitativas e, analogia neurobiológica (HAYKIN, 2001).

Visando aumentar a precisão das estimativas de volume e reduzir os custos no inventário florestal, este trabalho teve como objetivos propor, construir e validar um modelo de estimação do volume de árvores em um povoamento clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake por meio da utilização de redes neurais artificiais.

Fundamentação Teórica

No manejo florestal há um elemento importante denominado de estimação de estoques de crescimento e de colheita. Esse elemento fornece informações quantitativas sobre a floresta, amparando na definição de planos de manejo e em análises econômicas de prescrições de manejo, sendo que uma das informações quantitativa mais importante para o manejo é o volume (IMANÃ ENCINAS *et al.*, 2005; BINOTI *et al.*, 2013).

A quantificação do estoque volumétrico é realizada por meio de inventários florestal

contínuo (IFC). O IFC consiste basicamente na mensuração de amostras representativas do povoamento, formada pelas unidades de amostra (parcelas) (BINOTI *et al.*, 2013).

A análise de regressão é um método muito utilizado para a quantificação de volume de madeira, sendo agregado como utensílio de obtenção de quantificação e estimativa de variáveis de interesse, de modo que, a análise de regressão é uma série de técnicas voltadas para a modelagem e averiguação de relações entre duas ou mais variáveis. Há um grande número de modelos desenvolvidos e aplicados com sucesso, nos quais o ajuste dessas equações vem sido bastante utilizado por autores de forma a adaptá-las, sobretudo com relação às espécies, idades, espaçamentos e região (GOMES & GARCIA, 1993; CAMPOS & LEITE, 2006).

O emprego de redes neurais artificiais (RNA's) tem-se demonstrado como alternativa promissora em relação às técnicas de regressão no manejo dos recursos florestais (BINOTI *et al.*, 2013). Diferentes trabalhos têm sido elaborados propondo à sua adequação e parametrização para distintas situações, como a estimação do volume de árvores (SILVA *et al.*, 2009), crescimento e produção (BINOTI, 2010), *taper* (DIAMANTOPOULOU, 2005; LEITE *et al.*, 2011), modelos hipsométricos (BINOTI *et al.*, 2012a) e modelagem da distribuição diamétrica (BINOTI *et al.*, 2012b), entre várias outras aplicações.

Dentre as dificuldades encontradas no treinamento (aprendizagem) de uma RNA estão: definição da melhor arquitetura (número de camadas e número de neurônios por camada), possibilidade de subtreinamento e sobre-treinamento (*underfitting* e *overfitting*, respectivamente) e interpretação de como a rede alcançou os resultados, entretanto, apesar destas dificuldades, a performance e capacidade das RNA não são afetados (BRAGA *et al.*, 2000; OLDEN & JACKSON, 2002; ÖZESMI *et al.*, 2006).

Metodologia

O estudo foi realizado em um plantio clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden $\times$ *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake localizado na Fazenda Catedral (Grupo Concrem), no município de Paragominas/PA. O ponto central do experimento está situado na coordenada geográfica de 03°21'41,83"S e 47°36'59,62"W, com altitude média de 252 m e o solo da área está classificado como Latossolo Amarelo Distrófico com textura argilosa (EMBRAPA, 2013). O clima do município é classificado como do tipo "Aw" segundo a classificação de Koppen.

Foram abatidas e cubadas 223 árvores com amostragem seletiva no ano de 2016, distribuídas em 90 talhões com idades variando de 2 a 5 anos. Para tanto, realizou-se um levantamento diagnóstico na área para identificação do maior e do menor DAP (Diâmetro a Altura

do Peito), com fim de encontrar a amplitude total dos dados e, por conseguinte a amplitude de cada classe, ao ponto de definir 7 intervalos de classe.

Os dados de cubagem rigorosa foram tabulados utilizando o programa Microsoft *Office Excel* versão 2013, além disso, no mesmo programa foram separados de forma aleatória 80% dos dados para treinamento das redes neurais artificiais (RNA's) e 20% para a validação destas.

As redes foram treinadas e validadas no software *R-Project* (R CORE TEAM, 2016), de modo que estas são do tipo *perceptrons* de múltiplas camadas, também conhecida como *Multilayer Perceptron* (MLP), constituída por duas camadas artificiais que processam os dados, a intermediária e de saída, além da camada de neurônios de entrada que recebe e direciona os dados para camada intermediária (BINOTI *et al.*, 2013).

Para isso, treinou-se vinte redes neurais artificiais (Tabela 1), sendo dez com função de ativação logística e dez com função de ativação *Tanh* (Tangente Hiperbólica), as cinco melhores foram selecionadas com base na correlação entre volume comercial observado e volume comercial previsto (r_{HH}) na fase de treinamento. As redes selecionadas foram aplicadas nos dados que não participaram do treinamento, buscando-se a rede com a melhor estimativa a partir da introdução de novos dados.

Tabela 1: Características da arquitetura das redes neurais artificiais (RNA's) utilizadas no treinamento de 80% dos dados observados para a seleção das cinco melhores redes para validação. Fonte: Própria

REDE	ARQUITETURA*	FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO**
1	2-2-1	Logística
2	2-3-1	Logística
3	2-4-1	Logística
4	2-5-1	Logística
5	2-6-1	Logística
6	2-7-1	Logística
7	2-8-1	Logística
8	2-9-1	Logística
9	2-10-1	Logística
10	2-11-1	Logística
11	2-2-1	Tangente hiperbólica
12	2-3-1	Tangente hiperbólica
13	2-4-1	Tangente hiperbólica
14	2-5-1	Tangente hiperbólica
15	2-6-1	Tangente hiperbólica
16	2-7-1	Tangente hiperbólica
17	2-8-1	Tangente hiperbólica
18	2-9-1	Tangente hiperbólica
19	2-10-1	Tangente hiperbólica
20	2-11-1	Tangente hiperbólica

* Número de neurônios por camada, **Tipos de função de ativação que define a saída de um neurônio em termos de campo do campo local induzido.

As estimativas das RNA's e do modelo volumétrico selecionado, foram avaliadas com base nos coeficientes de correlação entre os valores observados e estimados (r_{HH}), na raiz quadrada do erro médio (RMSE%), bem como na análise gráfica do resíduo percentual (R%). Esses parâmetros foram obtidos pelas fórmulas: $r_{HH} = \frac{\text{cov}(V, \hat{V})}{\sqrt{s^2(V)s^2(\hat{V})}}$; $RMSE(\%) = \frac{100}{\bar{V}} \sqrt{\sum \frac{(V_i - \hat{V}_i)^2}{n}}$; $R(\%) = \frac{(\hat{V}_i - V_i)}{V_i} * 100$.

Para a validação das estimativas em árvores que não participaram do treinamento, foi realizado o processo descrito por Machado *et al.* (2008), consistindo na comparação dos valores estimados com os respectivos valores observados, pelo teste não paramétrico de Qui-quadrado (χ^2) a um nível de significância de 1%. A saber: $\chi^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{\hat{Y}}$.

Todos esses parâmetros serão calculados utilizando-se o software *Microsoft Office Excel* versão 2013, assim como a criação dos gráficos dos resíduos.

Resultados e Discussão

Na tabela 2 é apresentada a distribuição diamétrica das 223 árvores cubadas no campo. Segundo Netto (2008), esse conhecimento é um fator relevante para o entendimento sobre a produção e estoque de madeira, bem como, tomar decisões sobre a necessidade de reposição florestal.

Tabela 2: Intervalos de classe de diâmetros das árvores amostras de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake Fonte: Própria

Classe de Diâmetro	Li	$\bar{X}$	Ls	Fi
I	4,15	5,54	6,93	61
II	6,94	8,33	9,72	49
III	9,73	11,12	12,51	59
IV	12,52	13,91	15,30	31
V	15,31	16,70	18,09	7
VI	18,10	12,99	20,88	6
VII	20,89	22,28	23,67	10

Li = Limite Inferior; $\bar{X}$ = Média dos limites; Ls = Limite Superior; Fi = Frequência dos indivíduos

Devido à diferença de idade dos talhões utilizados pode-se observar um maior número de indivíduos concentrado nas classes de menor diâmetro. Esses valores são similares aos encontrados por Pedrosa *et al.* (2013), quando ao avaliarem plantios de *Eucalyptus grandis* para a estimativa de biomassa na região de Centro-Oeste do Brasil, encontraram maior número de indivíduos nos intervalos que variavam de 3,0 cm a 16,1 cm de DAP.

Das vinte redes treinadas foram selecionadas as cinco melhores redes (Tabela 3), baseado no maior valor de correlação existente entre o volume observado e o volume previsto tendo na camada de entrada as variáveis baseadas no modelo volumétrico de Storate ($V = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * DAP^2 * H + \beta_3 * H + \epsilon_i$).

Tabela 3: Características das redes neurais artificiais (RNA's) selecionadas para estimar o volume individual de árvores de híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Paragominas, Estado do Pará. Fonte: Própria

Rede	Arquitetura*	Função de ativação**	(r_{HH})
5	2-6-1	Logística	0,99664
8	2-9-1	Logística	0,99619
14	2-5-1	Tangente hiperbólica	0,99669
16	2-7-1	Tangente hiperbólica	0,99741
19	2-10-1	Tangente hiperbólica	0,99647

* Número de neurônios por camada, **Tipos de função de ativação que define a saída de um neurônio em termos de campo do campo local induzido, *** correlação entre volume comercial observado e volume individual previsto.

Após a seleção, essas redes foram aplicadas para validação nos indivíduos que ficaram de fora do treinamento. Todas as cinco redes selecionadas apresentaram uma alta precisão sobre volumes observados e volume previsto. O resultado da comparação entre as diferentes redes demonstrou uma mínima variação entre os valores de correlação e raiz quadrada do erro médio (Tabela 4).

Tabela 4: Estatísticas das RNA's selecionadas para estimativa de volume individual de árvores de híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Paragominas, Estado do Pará. Fonte: Própria

Rede	(r_{HH})	RMSE	X ²
5	0,9754	8,814	0,013788 ns
8	0,972	9,5015	0,022458 ns
14	0,9738	10,2967	0,013157 ns
16	0,9042	57,03	0,144528 ns
19	0,7535	9,2606	0,012594 ns

r_{HH} = coeficientes de correlação entre os valores observados e estimados, RMSE = raiz quadrada do erro médio, X² = valor de Qui-quadrado para valor de significância a 1%, ns = não significantes pelo teste Qui-quadrado para valor de significância a 1%

A rede 5 que possui a função de ativação logística, com seis neurônios em sua camada intermediária foi a que obteve o maior valor de coeficiente de correlação entre os valores estimados

e observados sendo de 0,9754 e com o menor resultado de RMSE de 8,8140. Gorgens *et al.* (2014) que utilizou as redes neurais para verificar a influência da arquitetura na estimativa de volume de árvores individuais por meio de RNA's, verificou em seu trabalho que as redes de função de ativação logística apresentaram valores estimados estatisticamente iguais ao observados, sendo selecionadas com melhores desempenhos.

A análise gráfica da dispersão dos resíduos em função dos valores observados está representada na figura 1, na qual se pode perceber as RNA's mostraram-se não tendenciosas, de modo que a rede 14 demonstrou homocedasticidade entre os dados, entretanto, somente esse diagnóstico não é o suficiente para inferir quando a escolha do melhor modelo. Segundo Binoti *et al.* (2015), a melhor rede que treina é a melhor de generaliza, logo somente a análise gráfica não deve ser levada em consideração para a seleção da melhor rede e sim o conjunto de fatores analisados, como as análises estatísticas juntamente com a representação gráfica.

Figura 1: Gráfico de dispersão de resíduos para as 5 diferentes redes selecionadas para o povoamento clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Paragominas, Estado do Pará. Fonte: Própria

Pelo teste de qui-quadrado as RNA's não apresentaram diferença significativa, onde os melhores resultados encontrados foram das redes cinco, quatorze e dezenove. Sendo aceita a hipótese de que os modelos selecionados são válidos e confiáveis para a estimativa individual de volume de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. Esses resultados foram similares ao estudo feito por Silva *et al.* (2009), onde concluíram que a tecnologia das RNA's apresenta uma boa adequação e é altamente recomendada para a previsão volumétrica da produção de florestas plantadas. Outro estudo realizado por Binoti *et al.* (2014) em um povoamento clonal de *Eucalyptus* no sul da Bahia, também pode comprovar a eficiência e o emprego das RNA's na estimação de volume total de árvores com ou sem casca de povoamento de *Eucalyptus*.

Conclusões

A rede neural artificial MLP 2-6-1 (Rede 5) foi considerada satisfatória e, portanto, pode ser utilizada como uma alternativa para a estimativa do volume individual de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake com casca, no município de Paragominas, Estado do Pará.

Referências

- BINOTI, D. H. B. et al. Modelagem da distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste utilizando autômatos celulares. **Revista Árvore**, v.36, n.5, p.931-939, 2012b.
- BINOTI, D. H. B. et al. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos utilizando redes neurais artificiais. **Agrária**, v. 8, p. 125129, 2012a.

BINOTI, M. L. M. D. S. et al. Utilização de redes neurais artificiais para a projeção da distribuição diamétrica de povoamento equiâneos. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 38, p. 747754, 2014.

BINOTI, M. L. M. da S. et al. Prognose em nível de povoamento de clones de eucalipto empregando redes neurais artificiais. **Cerne**. v. 21 n. 1. p. 97-105. 2015.

BINOTI, M. L. M. S. **Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto**. 2010. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.639-645, 2013a.

BRAGA, A. de P.; CARVALHO, A. P. de L. F. de; LUDEMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 262 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 170 p.2006.

DIAMANTOPOULOU, M. J. Artificial neural networks as an alternative tool in pine bark volume estimation. **Computers and electronics in agriculture**, v.10, n.3, p. 235-244, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**.3.ed. Brasília, 2013. 353p.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **A determinação de equações volumétricas na engenharia florestal**. Piracicaba: IPEF, v. 9, 36 p. 1993.

GORGENS, E. B. et al. Influência da arquitetura na estimativa de volume de Árvores individuais por meio de redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.2, p.289295, 2014.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Porto Alegre: 2001. 900p.

IMANÃ ENCINAS, J.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações técnicas florestais**, Brasília, UFB, Departamento de Engenharia Florestal, v.7, n.1, ISSN 1517-1922. 43p.2005

LEITE, H. G. et al. Estimation of inside-bark diameter and heartwood diameter for *Tectona grandis* Linn. trees using artificial neural networks. **European Journal of Forest Research**, v.130, n.2, p.263-269, 2011.

MACHADO, S. A. et al. Modelagem do volume do povoamento para *Mimosa scabrella* Benth na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, p.465-478, 2008.

NETTO, C.C.; **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos**. Santa Maria: UFSM. Dissertação de Mestrado. Universidade

Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, p.105, 2008.

OLDEN, J. D.; JACKSON, D. A. Illuminating the “black box”: a randomization approach for understanding variable contributions in artificial neural networks. **Ecological Modelling**, v. 154, p. 135-150, 2002.

ÖZESMI, S. L.; TAN, C. O.; ÖZESMI, U. Methodological issues in building, training, and testing artificial neural networks in ecological applications. **Ecological Modelling**, v. 195, p. 83-93, 2006.

PEDROSA, T. D. et al. Estimativa da biomassa em um plantio de *Eucalyptus grandis* na região Centro-Oeste. **Scientia Plena**. V. 9. n. 5. 2013.

R CORE TEAM .R : **A linguagem e ambiente para estatística Informática**. Fundação R para Statistical Computing, Viena, Áustria. 2016. Disponível em: < <https://www.R-project.org/> >. Acesso em 21 de julho de 2016.

SILVA, M. L. M. DA. et al. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, no.6, p.1133-1139, 2009.