

Simulação de redes neurais artificiais para estimativa de volume de madeira florestal a partir do DAP

Simulation of artificial neural networks for estimation of forest wood volume from DAP

DOI: 10.34188/bjaerv4n3-080

Recebimento dos originais: 04/03/2021

Aceitação para publicação: 30/06/2021

Emanuele de Oliveira Valente

Estudante em Engenharia Florestal na UFLA
Universidade Federal de Lavras
Aqueça Sol, Lavras – MG- Brasil
E-mail: elioumanu@gmail.com

Gerson de Freitas Silva Valente

Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos
Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – *Campus* Barbacena
Rua Monsenhor José Augusto, nº 203 e 204 - São José -Barbacena - MG - Brasil
E-mail: gerson.valente@ifsudestemg.edu.br

RESUMO

O inventário florestal usa a altura (H) e o diâmetro na altura do peito (DAP) para determinação do volume de madeira. O grande problema é ajustar equações hipsométricas adequadas para estimar a altura. As equações são testadas e avaliadas por critérios estatísticos. A medição de alturas em povoamentos florestais é uma atividade onerosa, uma vez que, em comparação com a medição do diâmetro, sua obtenção não é fácil. Uma alternativa promissora consiste no uso de redes neurais artificiais (RNA), sistemas computacionais paralelos constituídos por unidades de processamento simples conectadas entre si de maneira específica para desempenhar determinada tarefa. Diante disso, o trabalho propõe usar técnicas de inteligência artificial para estimação do volume de madeira em uma floresta usando somente o DAP. Baseado em dados da literatura (Pesquisa: Modelos para quantificação do volume de diferentes sortimentos em plantio de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*.), foram gerados dados aleatórios de H e DAP entre o mínimo do DAP e H, 2,0 cm e 4,4 m, e o máximo, 28,9 cm e 32,9 m, respectivamente, no Excel. A partir desses dados, calculou-se o volume estimado de madeira pela fórmula de Takata (H e DAP), escolhida entre outros modelos por apresentar baixo erro-padrão da estimativa, além do baixo erro-padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$), o modelo de Takata tem apresentado um alto coeficiente de determinação no inventário de fazendas de eucalipto. Sendo assim, este modelo se mostrou ligeiramente superior aos demais, tornando-se o mais adequado para estimativa da variável volume total em povoamentos de *Eucalyptus urograndis*, em Brasília. A partir dos dados treinou-se uma rede neural artificial (RNA) utilizando como variável contínua de entrada o DAP e de saída o volume calculado pela equação de Takata. A rede neural foi obtida pelo software PYTHON usando a função *MLPRegressor* (verbose=True, max_iter=10000, hidden_layer_sizes=(n)). Com isso foram testadas várias redes neurais artificiais para realizar a regressão entre volume de madeira calculado pela equação de Takata e DAP, e a melhor Rede Neural Artificial foi com 10 neurônios na camada oculta, apresentou $r=0,99$. A RNA é uma ferramenta do *machine learning* para o inventário florestal na determinação do volume de madeira a partir do DAP, principalmente quando já se tem banco de dados.

Palavras-chave: Ciências de dados, Hipsométricas, Machine learning, Atividades Florestais.

ABSTRACT

The forest inventory uses height (H) and diameter at breast height (DBH) to determine wood volume. The big problem is to adjust proper hypsometric equations to estimate height. Statistical criteria test and evaluate equations. Measuring heights in forest stands is a costly activity, since, compared to measuring the diameter, it is difficult to get. A promising alternative is the use of artificial neural networks (ANN), parallel computational systems comprising simple processing units connected to each other specifically to perform a certain task. That said, the work proposes to use artificial intelligence techniques for estimating the volume of wood in a forest using only DBH. Based on literature data (Models for quantifying the volume of different assortments in *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* plantation), random data were generated for H and DBH between the minimum DBH and H, 2.0 cm and 4.4 m, and the maximum, 28.9 cm and 32.9 m, respectively, in Excel. From these data, the estimated wood volume was calculated using the Takata formula (H and DBH), chosen among other models for presenting a low standard error of the estimate besides the low standard error of the percentage estimate ($Sy\%$), the Takata model has shown a high coefficient of determination in the inventory of eucalyptus farms. Therefore, this model was slightly superior to the others, making it the most suitable for estimating the variable total volume in *Eucalyptus urograndis* stands in Brasilia. From the data, an artificial neural network (ANN) was trained using as continuous variable input the DAP and output the volume calculated by the equation of Takata. The neural network was got by the Phyton software using the MLPRegressor function (verbose=True, max_iter=10000, hidden_layer_sizes=(n)). Thus, several artificial neural networks were tested to perform the regression between wood volume calculated by an equation of Takata and DAP, and the best Artificial Neural Network was with 10 neurons in the hidden layer, presented $r=0.99$. ANN is a machine learning tool for forestry inventory in determining wood volume from DBH, especially when you already have a database.

Keywords: Data sciences, Hypsometrics, Machine learning, Forestry activities.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da madeira e a maximização dos lucros depende da estimativa do volume de madeira com precisão. A modelagem matemática é usada para estimar o volume de uma árvore e tanto estes modelos quanto os de afilamento podem ser gerados a partir de medições das variáveis: diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (Ht) (IMAÑA-ENCINAS et al., 2009).

A determinação da altura das árvores é uma variável de difícil mensuração, sujeita a erros e que onera bastante os inventários florestais. Por isso, o mais comum é medir a altura de algumas árvores na parcela e, a partir de equações hipsométricas, estimar a altura das demais, procedimento que deixa o processo mais prático e econômico. As relações hipsométricas, ou seja, as funções relacionando altura total e o DAP são bastante sensíveis à diferença entre locais (CANAVESI; PONZONI; VALERIANO, 2010).

A coleta da altura das arvores é difícil especialmente em povoamentos altos, como no caso de plantações de *Eucalyptus* sp. O conjunto de dados de alturas das árvores é usado para estabelecer

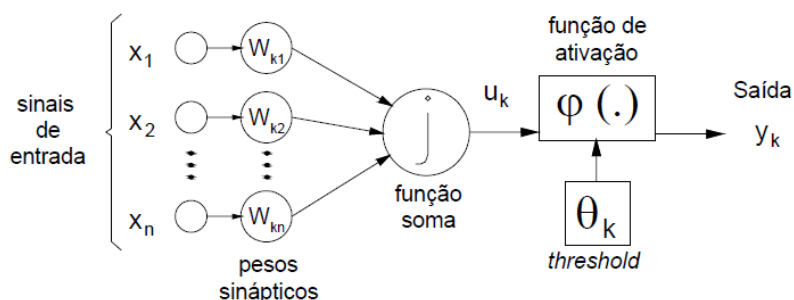
uma relação de regressão da altura sobre o diâmetro e, então, estimar a altura das demais em função dos diâmetros medidos. O uso de modelos hipsométricos torna o inventário muitas vezes tão preciso quanto se realizasse a medição das alturas de todas as árvores da parcela, outras vezes se torna inadequado (IMANÑA-ENCINAS et al., 2009).

A relação de modelos matemáticos para ajustar a curva de altura em função do diâmetro tem sido alterada constantemente. Modelos hipsométricos clássicos podem ser encontrados em publicações como CARNEIRO et al. (2019); CERDEIRA (2012); IMANÑA-ENCINAS et al. (2009); THAINES et al. (2010).

Uma alternativa para modelagem são as Redes Neurais Artificiais. As RNA podem funcionar como modelos preditivos que descrevem a relação funcional entre as variáveis de entrada e variáveis de saída de um sistema. As Redes Neurais Artificiais têm várias vantagens sobre os modelos fenomenológicos tradicionais ou modelos empíricos. RNA desenvolvem um mapeamento das variáveis de entrada e saída, que podem ser usados para prever parâmetros de saída do sistema (CONDÉ; VALENTE; MINIGHIN, 2020; JÚNIOR; VALENTE; SILVA, 2020; VALENTE et al., 2014).

Todo o processo é realizado distributivamente entre os elementos processadores da rede, cada qual o realiza isolado e paralelamente, enviando seu resultado para outras unidades por meio das conexões entre eles. Apesar de que cada neurônio faz um processamento bastante simples, a ligação os capacita a solucionar problemas altamente complexos. A Figura 1 mostra a representação de um neurônio artificial (HAYKIN, 2001).

Figura 1. Representação de um neurônio artificial



Fonte: (HAYKIN, 2001)

A capacidade de solucionar determinado problema está na sua arquitetura, no número e modo pelo qual os elementos processadores estão interconectados, nos pesos destas conexões e no número de camadas (FURTADO, 2019).

2 MATERIAL E MÉTODOS

No trabalho de CERDEIRA (2012) foi realizado inventário florestal em que foi medido a circunferência de todas as árvores que estavam dentro da parcela e a altura apenas de algumas árvores, no caso, das onze primeiras árvores. Como se trata de estimativas foi necessário ajustar modelos para saber qual o modelo que melhor representa os dados para esta situação. Equações hipsométricas com seus respectivos erros-padrão e coeficientes de determinação ajustados. Foi possível perceber que no povoamento estudado houve baixa correlação entre o DAP e a altura total, uma vez que o coeficiente de determinação ajustado foi um valor baixo, entre 0,44 e 0,55 para todas as equações avaliadas. Para isso, nesse trabalho, propõe-se o uso das redes neurais artificiais para predição da altura e do volume a partir do DAP. Baseados que os melhores resultados para determinação de volume foi a equação de Takata (Equação 1), usou-se o Excel para gerar dados aleatórios de DAP e H a partir de dados reais do trabalho de CERDEIRA (2012) a partir desses fez-se o cálculo do volume usando a Equação 1 de Takata e usou as redes neurais artificiais para predizer o volume a partir do DAP.

$$V = \frac{DAP^2 H}{22667,6 + 426,264DAP} \quad \text{Eq. 1}$$

A arquitetura da rede neural foi determinada através do *software* PYTHON 3.7. O número de neurônios na camada de entrada foi definido pela variável DAP. A camada de saída foi a predição dos componentes altura (uma rna) e volume de madeira (outra rna). O número de neurônios na camada oculta foi definido por tentativa e erro usando como parâmetro o coeficiente de correlação (r) e o menor erro quadrático médio dado pela Equação 2:

$$MSE = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q (t(k) - a(k))^2 \quad \text{Eq. 2}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados usados para simulação para determinação da altura e volume de madeira pela equação de Takata e pela regressão por redes neurais gerados a partir de planilha de Excel.

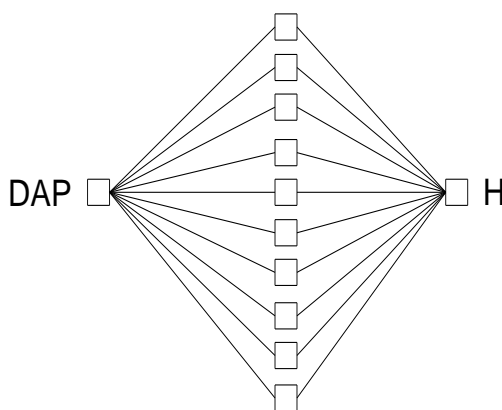
Tabela 1. Dados de DAP e altura (H em m) usados na simulação das redes neurais artificiais.

DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)
13,7	20,3	15,6	20,1	20,2	24,6	24,8	29,0
5,5	10,5	16,1	20,6	20,7	25,1	25,3	29,5
20,0	25,4	16,6	21,1	21,2	25,5	25,8	30,0
2,0	4,4	17,1	21,6	21,7	26,0	26,3	30,5
14,3	17,9	17,6	22,1	22,2	26,5	26,8	31,0
27,9	29,8	18,1	22,6	22,7	27,0	27,3	31,5
3,6	8,0	18,7	23,1	23,2	27,5	27,8	32,0
12,8	18,7	19,2	23,6	23,8	28,0	28,3	32,5
17,6	23,9	19,7	24,1	24,3	28,5	28,9	32,9

Nota= dados em negrito correspondem a dados retirados do trabalho de CERDEIRA (2012) e os outros dados foram gerados no Excel.

A regressão por redes neurais artificiais que obteve melhor resultado foi aquela com arquitetura de 10 neurônios na camada oculta para relacionar DAP e H e DAP e volume de madeira. A arquitetura da rede neural artificial está representada nas Figuras x e x. A função de regressão usada no PYTHON foi a *MLPRegressor(verbose=True, max_iter=10000, hidden_layer_sizes=(10))*. A Figura 2 representa a RNA que relaciona o DAP e altura das árvores (H).

Figura 2. Representação esquemática da arquitetura da RNA para predição da altura a partir do DAP.



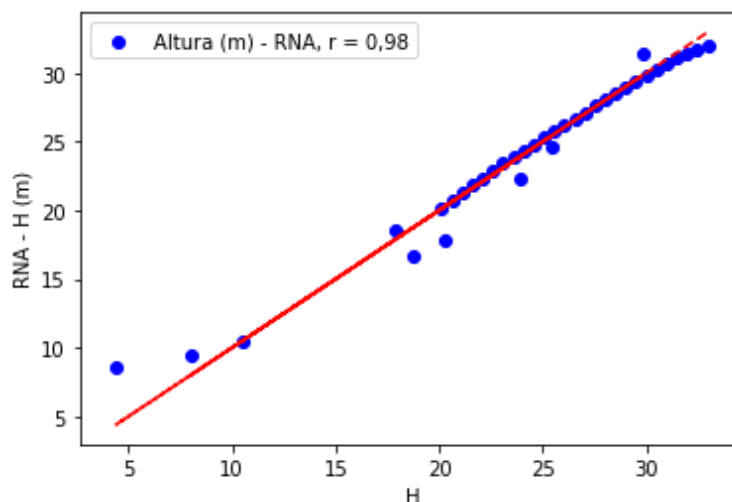
Os pesos estabelecidos para rede neural artificial estão representados na Tabela 2.

Tabela 2. Matriz pesos entre entrada e camada oculta (W_1) e pesos entre camada oculta e camada de saída (W_2) para a estrutura final da rede neural artificial.

Neurônios	Pesos da entrada (W_1)	Pesos da saída (W_2)
1	0,229944	-0,18046
2	-3,30314.10 ⁻⁹	0,204374
3	-2,02839.10 ⁻⁵	-0,213483
4	-0,233721	0,109668
5	-0,00713865	0,17254
6	-0,583534	-0,370801
7	-0,819595	-0,988817
8	1,0227	0,651916
9	0,676724	0,0171025
10	0,505519	-0,0675553

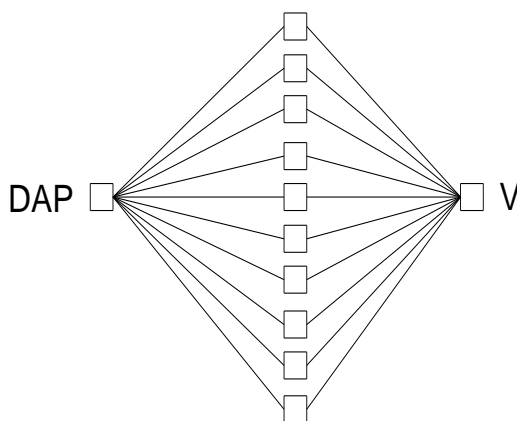
A Figura 3 representa a relação entre a altura predita rede neural artificial e a altura usada na simulação.

Figura 3. Representação entre a relação entre a altura predita rede neural artificial e a altura usada na simulação.



É possível observar que ocorreu maior diferença entre a altura e altura predita pela RNA para os menores valores de altura, próximo a 5 m. No geral, apresentou excelente correlação ($r=0,98$) entre altura da simulação e altura predita pela RNA usando o DAP. A Figura 4 representa a RNA para predição do volume de madeira a partir do DAP.

Figura 4. Representação esquemática da arquitetura da RNA para predição do volume a partir do DAP.



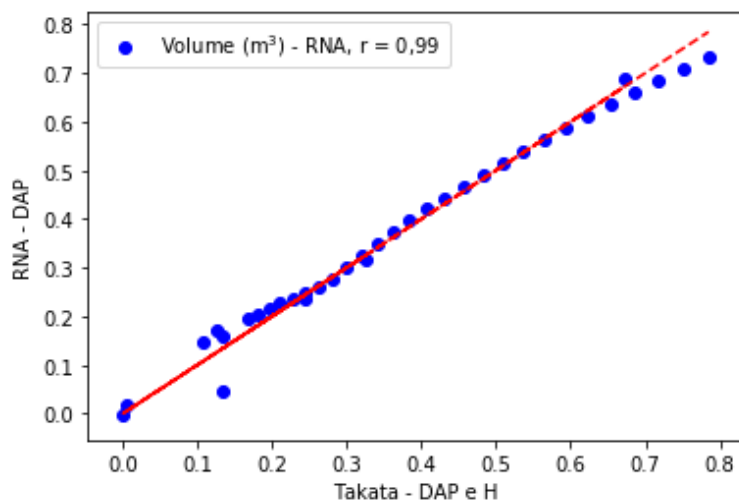
Os pesos estabelecidos para rede neural artificial que relaciona o DAP com o volume de madeira, em m³), estão representados na Tabela 3.

Tabela 3. Matriz pesos entre entrada e camada oculta (W₁) e pesos entre camada oculta e camada de saída (W₂) para a estrutura final da rede neural artificial.

Neurônios	Pesos da entrada (W ₁)	Pesos da saída (W ₂)
1	-0,115519	-0,46016
2	0,694374	0,328804
3	0,264695	0,729163
4	-0,262817	0,547097
5	-0,440962	-0,0251607
6	0,13458	-0,186315
7	0,658411	0,821325
8	-0,554788	-0,321303
9	0,0097852	0,202357
10	0,428687	0,897096

A Figura 5 representa a relação entre o volume determinado pela equação de Takata a partir do DAP e H e o volume definido pela rede neural artificial a partir do DAP.

Figura 5. Representação entre a relação de volume predita rede neural artificial a partir do DAP e o volume de madeira calculado pela equação de Takata.



Os volumes de madeira determinados somente a partir do DAP apresentou excelente coeficiente de correlação, coeficiente de correlação igual a 0,99, indicativo que as redes neurais se apresentam como ferramenta poderosa no inventário florestal.

A modelagem estatística na predição de alturas de árvores em florestas plantadas é uma forma de reduzir o tempo e custo do levantamento de dados do inventário florestal, Martins et al., (2019) realizaram um estudo com o objetivo de estimar a altura de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill através de modelos de regressão (MR) e redes neurais artificiais (RNA). Foram ajustados cinco modelos hipsométricos tradicionais, cinco modelos em função da variável DAP e da variável idade na forma aritmética, quadrática, logarítmica, inversa e raiz quadrada, totalizando vinte e cinco novos modelos e, por fim, foram treinadas cinco redes neurais do tipo *Multilayer Perceptron*. As técnicas foram avaliadas estatisticamente, as RNA obtiveram melhores resultados estatísticos. Ambas as técnicas poderiam ser utilizadas para estimar a altura das árvores de *E.grandis*, porém as RNA são mais acuradas.

As RNA destacam-se como ferramentas alternativas na modelagem florestal, com resultados muitas vezes superiores em relação aos métodos tradicionais de regressão. Leal; Leal; Silva (2020) estudaram as estimativas de volume e altura, obtidas por redes neurais artificiais e modelos alométricos, são compatíveis ao método tradicional de cubagem rigorosa. Estatisticamente, não houve diferença entre os dados da cubagem em campo e as estimativas, ao nível de 5% de significância. Tanto os modelos de regressão quanto as RNA apresentaram bons ajustes, no entanto, as RNA foram superiores em desempenho, pois apresentaram S_{yx} de a 2% no treinamento e 2,5% na validação, para variável altura, e S_{yx} de 6,5% no treinamento e 5,1% na validação, para o volume.

Dos Santos et al. (2018) realizaram uma pesquisa para comparar as estimativas do volume obtidas por equações de regressão com redes neurais artificiais(RNA) para a espécie *Couratari*

stellata, a partir dos dados de cubagem rigorosa de 1.351 árvores com DAP >50 cm de 04 (quatro) Unidades de Produção Anual (UPAs), a saber: Upas 06, 07, 08 e 09, manejadas, respectivamente, em 2011, 2012, 2013 e 2014, da área de manejo florestal da Cooperativa Mista da Floresta Nacional do Tapajós, em área de Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme. A equação com melhor desempenho, para todas as UPAs, foi a de Schumacher-Hall sendo posteriormente comparada com a melhor RNA obtida a partir do treinamento dos dados. Verificou-se que ambos os métodos apresentaram estatísticas de ajuste e precisão aceitáveis, com potencial utilização para estimar o volume da espécie *Couratari stellata*. No entanto, a RNA mostrou-se ligeiramente superior pela habilidade de aprender e generalizar o conhecimento adquirido sendo, portanto, recomendada para tal finalidade.

As redes neurais artificiais têm mostrado performance melhor na modelagem florestal. No entanto, deve-se atentar para uma configuração que garanta estimativas acuradas e capacidade de generalização, sendo a quantidade de neurônios na camada oculta uma característica crítica a ser decidida. A quantidade de neurônios a serem considerados na camada oculta deve ser definida com atenção para que o fenômeno modelado conserve capacidade de generalização (BUENO et al., 2020). As redes neurais artificiais demonstram ser uma alternativa as equações tradicionais no inventário florestal, principalmente, quando se tem um banco de dados. A simulação para predição de altura e volume de madeira a partir do DAP foram adequadas, mas existe outras possibilidades de aplicações que podem ser ajustados como determinação ou predição da quantidade de mourão, estacas etc. que uma floresta pode produzir.

4 CONCLUSÃO

A simulação das redes neurais artificiais para calcular a altura (H) e o volume de madeira a partir do DAP demonstrou ser uma alternativa as equações hipsométricas tradicionais no inventário florestal. O coeficiente de correlação entre altura de eucalipto e altura prevista pela RNA foi de 0,98; o coeficiente de correlação para o volume calculado pela RNA e o volume calculado pela equação de Takata foi de 0,99. Outras aplicações das RNA podem ser desenvolvidas na indústria 4.0 como auxílio para tomadas de decisão no manejo florestal, principalmente, a partir de informações em banco de dados.

AGRADECIMENTOS

A UFLA e ao Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – *Campus Barbacena*.

REFERÊNCIAS

- BUENO, G. F. et al. Efeito do número de neurônios na camada oculta para relações hipsométricas de eucalipto usando redes neurais artificiais. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 2, p. 222, 2 jul. 2020.
- CANAVESI, V.; PONZONI, F. J.; VALERIANO, M. M. Stand volumes estimate Eucalyptus spp. plantations in forests using hyperspectral and topographic data. **Revista Arvore**, v. 34, n. 3, p. 539–549, 2010.
- CARNEIRO, F. D. S. et al. Resiliência do volume de madeira de espécies comerciais em Cdiferentes áreas experimentais na Amazônia Oriental. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 15–31, 5 nov. 2019.
- CERDEIRA, A. L. N. **Modelos para quantificação do volume de diferentes sortimentos em plantio de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis***. 2012. 66f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação)-Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- CONDÉ, V. A.; VALENTE, G. DE F. S.; MINIGHIN, E. C. Milk fraud by the addition of whey using an artificial neural network. **Ciência Rural**, v. 50, n. 7, p. 1–8, 5 jun. 2020.
- DOS SANTOS, K. N. F. et al. Ajuste de equações volumétricas e redes neurais artificiais na estimativa do volume de tauari na floresta nacional do tapajós. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, p. 1, 11 nov. 2018.
- HAYKIN, S. *Redes Neurais – princípios e prática*, Editora Bookman, 2ª ed, Porto Alegre – RS, Brasil. 2001.
- IMAÑA-ENCINAS, J. et al. Equações de volume de madeira para o cerrado de planaltina de goiás. **FLORESTA**, v. 39, n. 1, 27 mar. 2009.
- JÚNIOR, L. F. C.; VALENTE, G. DE F. S.; SILVA, M. DA M. C. Modelling of the extraction of phenolic compounds from beer malt bagasse using artificial neural network / Modelagem de extração de compostos fenólicos de bagaço de malte de cervejaria usando redes neurais artificiais. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 74010–74023, 1 out. 2020.
- LEAL, F. A.; LEAL, G. DA S. A.; SILVA, T. C. DA. Redes neurais artificiais e modelos alométricos aplicados para estimativa de volume e altura em *Eucalyptus urophylla* S.T.Blacke. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1181–1188, 3 nov. 2020.
- MARTINS, M. T. et al. Estimacão da altura de plantios florestais de eucalipto dor regressão e redes neurais artificiais. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 141, 3 dez. 2019.
- THAINES, F. et al. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 283–289, 27 dez. 2010.
- VALENTE, G. F. S. et al. Aplicação de redes neurais artificiais como teste de detecção de fraude de leite por adição de soro de queijo. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 6, p. 425, 2 dez. 2014.