

Universidade Federal de Viçosa
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Engenharia Florestal

Estimação do volume do cerne de
Tectonagrandis L.f. utilizando
Redes Neurais Artificiais (RNA) e Taper

Autor: Ramon Barreto Souza
Matrícula institucional: 65227

Viçosa – Minas Gerais
Julho/2014

Universidade Federal de Viçosa
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Engenharia Florestal

Estimação do volume do cerne de
Tectonagrandis L.f. utilizando
Redes Neurais Artificiais (RNA) e Taper

Autor: Ramon Barreto Souza
Matrícula institucional: 65227

Trabalho Final de Curso apresentado
à Universidade Federal de Viçosa como
requisito parcial para obtenção do título
de graduado em Engenharia Florestal.

APROVADA, 18 de julho de 2014

Orientador: Prof. Helio Garcia Leite

Prof. Carlos Pedro Boechat Soares

Me. Alvaro Augusto Vieira Soares

Viçosa – Minas Gerais
Julho/2014

BIOGRAFIA

Ramon Barreto Souza é “cria” de Glice Maria Barreto Souza e Miguel Inácio de Souza, chegou a esse mundo às 23 horas e 54 minutos do dia 8 de março de 1987, na cidade de Jaguaquara, Bahia.

Cursou o ensino fundamental e médio em diversos colégios pela Bahia, a maioria deles de cunho privado. Cursou três anos de engenharia ambiental na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), antes de ingressar no curso de graduação de Engenharia Florestal, oferecido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em 2009, concluindo-o com a apresentação do presente estudo, no ano de 2014. Durante a graduação foi monitor das disciplinas Topografia Básica, e Topografia e Estradas, vinculadas ao departamento de Engenharia Civil, por cinco períodos consecutivos. Estagiou na área de Manejo Florestal com o Professor Helio Garcia Leite, trabalhando com o desenvolvimento pesquisa científica, por três períodos.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	6
2 – OBJETIVOS	9
2.1 – Objetivo geral	9
3 – MATERIAS E MÉTODOS.....	10
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5 – CONCLUSÃO.....	21
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	22

RESUMO

BARRETO, R. S.. Trabalho de final de curso. Universidade Federal de Viçosa (UFV). **Estimação do volume do cerne de *Tectona grandis* L.f utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA) e Taper.** Viçosa, MG. Julho de 2014.

Este estudo foi conduzido visando testar a eficiência da utilização do método de redes neurais artificiais (RNA) para estimar o volume de árvores de *Tectona grandis* L.f. Os dados utilizados foram obtidos da cubagem de 260 árvores-amostra que apresentavam diâmetro a altura do peito (dap) entre 5 e 31 cm, e altura total entre 5 e 23 m. As árvores tinham idade entre 3 e 12 anos. Foram abatidas em povoamentos localizadas na região centro-sul do estado do Mato Grosso, com espaçamento inicial de 3x3 m. Também foram medidos os diâmetros de casca e diâmetro do cerne para o cálculo de volume sem casca observado, e volume de cerne observado através do método Smalian. Variando as arquiteturas de entrada e de saída das redes, foram treinadas 300 RNA de cada arquitetura, visando estimar o volume de cerne, salvando a melhor rede de cada arquitetura. Foi realizada ainda uma etapa de generalização da RNA. Em uma próxima etapa foi utilizado os mesmos dados para estimar o volume de cerne através do método de Garay (1979) modificado, assim como demonstrado por Leite, 2011. Foi comparado os resultados obtidos nos dois estudos. Foi possível concluir que Redes Neurais Artificiais são eficientes para estimar o afilamento do fuste de teca, visando estimar o volume de cerne, podendo resultar em maior exatidão em comparação ao emprego de modelos de Taper.

1- INTRODUÇÃO

A Teca, *Tectonagrandis*L.f., é uma das espécies mais procuradas no mercado internacional de madeiras, principalmente por apresentar excelentes características físicas, como alta durabilidade, boa estabilidade dimensional, resistência e pouco peso, além das qualidades estéticas apresentadas. É uma espécie nativa da Ásia que, segundo Pandey e Brown (2000), desenvolve-se bem em climas tropicais com umidade elevada, precipitação anual de 1250 a 3750 mm, temperatura mínima de 13 a 17°C. Por apresentar tais características, vem sendo introduzida na África Tropical, ilhas do Pacífico, e nas Américas do Sul e Central, principalmente na Colômbia, Equador, El Salvador, Panamá, Trinidad Tobago e Venezuela, sendo os primeiros plantios estabelecidos em Trinidad e Tobago, 1913 (PANDEY; BROWN, 2000).

Segundo Leite et al, 2011, o crescimento acelerado dos indivíduos de teca em algumas regiões do Brasil, e a formação de fuste retilíneo, incentivou o plantio em larga escala para a produção de madeira serrada, com o objetivo de abastecer o mercado externo. O crescimento inicial da teca em altura é muito rápido, chegando aos três metros no primeiro ano e aos cinco metros, ou mais, no segundo, e quando adulta pode atingir entre vinte e quatro e trinta metros de altura (CALDEIRA, 2004).

A produtividade das plantações de teca tem sido estudada em vários países. Em florestas naturais, a produção é baixa, com 2 a 17 m³ha⁻¹ano⁻¹, em um ciclo de até 120 anos (TONINI et al., 2009). Em florestas plantadas na África, Ásia, e América Central, com uma idade de rotação média de 50 anos, tem sido observados

incrementos médios anuais máximos de 13,3 a 23,8 m³ha⁻¹ano⁻¹, em sítios de boa produtividade (PANDEY; BROWN, 2000).

O estado do Mato Grosso foi o primeiro a implantar os plantios de teca no Brasil, principalmente por reunir condições edafoclimáticas adequadas para o estabelecimento dessa espécie. Nessa região, o incremento médio anual, entre 20 e 25 anos, é de aproximadamente 15 m³ha⁻¹ano⁻¹, em termos de produção líquida, para povoamentos desbastados aos 5, 10 e 15 anos. Resultados sobre crescimento desta espécie no Brasil são encontrados nos trabalhos de Nogueira *et al.* (2006), Cruz (2008) e Bezerra (2009) (Leite *et al.*, 2011).

Na Teca a diferença entre cerne e alburno é bastante evidente, sendo facilmente distinguidos pela cor. O cerne é uma característica comercial de suma importância, influenciando positivamente o preço da madeira (CALDEIRA, 2004) e, também, a qualidade da madeira serrada (KLITZKE *et al.*, 2008), sendo preferido para usos que requeira durabilidade e resistência mecânica (HASELEIN *et al.*, 2004). Madeiras de alburno ou de transição entre cerne e alburno, em função das diferenças de propriedades, são descartadas pelas indústrias, sendo empregadas geralmente na produção de energia (HASELEIN *et al.*, 2004) (Leite *et al.*, 2011).

Em função da importância econômica do cerne, obter sua estimativa é fundamental para quantificá-lo e assim determinar o rendimento de madeira serrada. Segundo Leite *et al.* (2011), o afilamento do cerne e do fuste de árvores de teca pode ser estimado empregando o modelo de regressão proposto por Garay (1979), com a inclusão de duas variáveis binárias. Este método é usado para o estudo de afilamento de fuste para o afilamento do cerne. Um método alternativo para se estimar o volume de cerne em um indivíduo de teca é a inteligência artificial (IA), mais especificamente as redes neurais artificiais (RNA). Este método foi utilizado por Leite *et al.* (2010), para dados de teca com 2 a 14 anos de idade, abatidas em plantações localizadas no estado do Mato Grosso.

Redes neurais artificiais (RNA) são sistemas massivos e paralelos, compostos por unidades de processamento simples que computam determinadas funções matemáticas (BRAGA *et al.*, 1998). As RNA utilizam um conjunto de exemplos apresentados, e generalizam o conhecimento assimilado para um novo conjunto de dados desconhecidos, além de extrair características não explícitas desse conjunto

de informações fornecidas (KOVÁCS, 1996). De forma simplificada, ela pode ser definida como um arranjo de unidades, neurônios interconectados, que trabalham em conjunto para classificar e generalizar dados de entrada em classes de saída (HAYKIN, 2001, Apud BOTELHO; CENTENO, 2005, p78).

Os neurônios artificiais são modelos matemáticos simplificados dos neurônios biológicos que processam informações recebidas, ponderados por pesos sinápticos fornecendo uma única resposta (HAYKIN, 2001; BRAGA et al., 2007).

Em alguns casos, RNA têm apresentado desempenho superior a modelos de regressão devido a diversos fatores como: estrutura maciça e paralelamente distribuída (camadas); habilidade de aprender e generalizar, que as tornam capazes de resolver problemas complexos; tolerância a falhas e ruídos; capacidade de modelar diversas variáveis e suas relações não-lineares; capacidade de modelagem com variáveis categóricas (qualitativas). Além das numéricas; e analogia neurobiológica (HAYKIN, 2001).

Redes neurais artificiais têm sido utilizada para diferentes aplicações na engenharia florestal, como podemos observar nos trabalhos realizados por: Binoti (2012), em sua tese de doutorado, em que foi realizado um profundo estudo a cerca do emprego de RNA em mensuração e manejo florestal; Schoeninger et al. (2008), estudo realizado para ver a viabilidade de uso de RNA para mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de uma floresta; Gorgens et al. (2009), em que foi estimado o volume de árvores utilizando RNA; Leite et al. (2010), em que se realizou a estimação de volumes de tronco e cerne de teca utilizando RNA.

Assim, o estudo visa testar a aplicação de redes neurais artificiais (RNA) na descrição do afilamento do fuste e cerne de árvores de teca.

2 – OBJETIVOS

2.1 – Objetivo geral

O presente estudo objetiva treinar e selecionar uma Rede Neural Artificial que seja o mais preciso possível para a estimação do volume de cerne de *Tectonagrandis* L.f., utilizando como dados de entrada dados que sejam possíveis de ser mensurados com a árvore em pé, como DAP, altura total (Ht). Utilizando os mesmos dados, serão estimados os volumes de cerne utilizando o método Garay (1979) modificado, assim como demonstrado por Leite, 2011, visando comparar os resultados da RNA.

3 –MATERIAS E MÉTODOS

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos a partir da cubagem de 260 árvores-amostra abatidas em povoamentos de *Tectonagrandis*(teca),localizadas na região centro-sul do estado do Mato Grosso.Apresentavam dap entre 5 e 31 cm, e altura total entre 5 e 23 m(Figura 1).No momento da cubagem as árvores tinham idade entre 3 e 12 anos, em povoamentos com espaçamento inicial de 3x3 m. A cubagem foi feita pelo método de Smalian, quando, além do diâmetro com casca, foram medidos os diâmetros sem casca e do cerne, para cálculos de seus respectivos volumes.

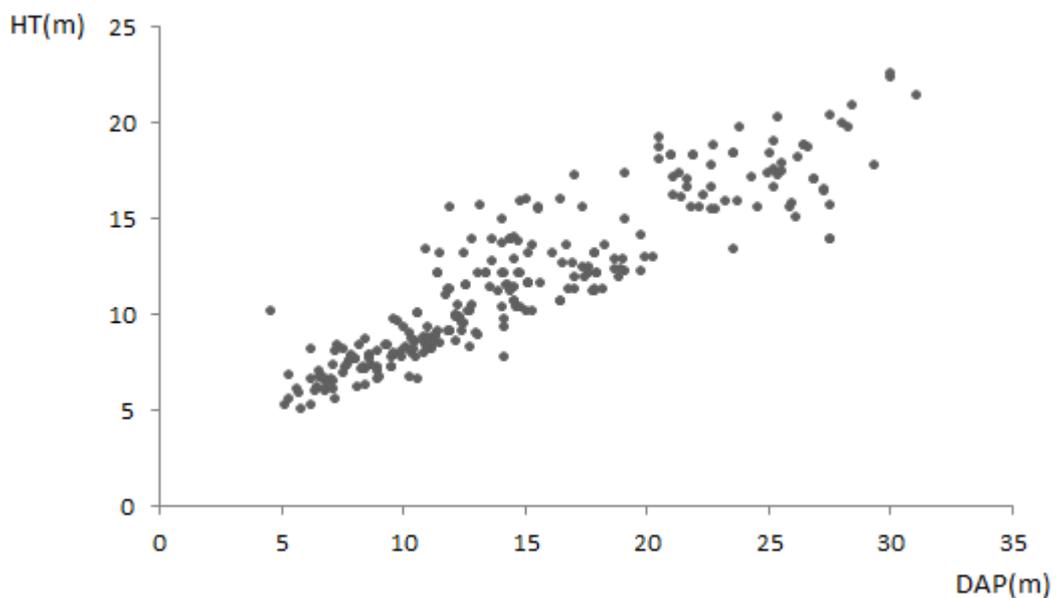


Figura 1 – Relação entre altura total (Ht) e diâmetro a altura do peito (DAP) dos dados utilizados.

A partir dos dados observados de volume total (Vt), volume sem casca (Vsc) e volume de cerne (Vce), foram treinadas trezentas (300) RNA para estimar o volume com casca, volume sem casca e volume de cerne, utilizando diversas configurações de dados de entrada, até conseguir alcançar um resultado satisfatório, segundo estatísticas geradas durante o treinamento das redes: índice de treino, índice de seleção e índice de avaliação, salvando a melhor RNA encontrada. Nesta primeira etapa foi utilizado todo o banco de dados disponível, sem seleção de dados. Para gerar as RNA foi utilizada a ferramenta “IntelligentProblem Solver” do programa “STATISTICA 12” (Statsoft, INC, 2013).

Numa etapa posterior o banco de dados foi estratificado em classes de alturas ≤ 10 ; 10,1-15; 15,1-20; 20,1-25; ≥ 25 . Uma amostra aleatória de 70% dos dados foi utilizada para gerar outra rede com a mesma arquitetura de entrada utilizada na melhor rede da primeira etapa. Após analisar os resultados a melhor rede, segundo as estatísticas de treino, foi salva e utilizada na generalização.

Os demais dados não utilizados na última etapa, 30%, foram utilizados para aplicar e validar a melhor RNA obtida no estudo (RNA2), ou seja, para a generalização.

Por último foi estimado o volume de cerne utilizando modelos de Taper e foram comparados os resultados obtidos com a RNA com os resultados desenvolvidos a partir do estudo utilizando o método proposto por Leite *et al.*, 2011, quando foi utilizado o modelo proposto por Garay (1979), com a inclusão de uma variável binária.

Garay modificado
$$d_i dap^{-1} = 2,596021(1 + 0,157843 \ln(1 - 0,998216(h^{0,007721} Ht^{-0,007721}))).$$

$$e^{-1,421417Tx_1 dap^{-1} - 9,45757Tx_2 dap^{-1}}$$

Em todas as análises e comparações presentes nesse estudo foram estimadas as estatísticas da associação entre variáveis e de exatidão: coeficiente de correlação múltipla (r_{yy}), bias, e raiz quadrada do erro médio (RMSE). Ainda foram confeccionados histogramas dos erros percentuais das RNA. As estatísticas estimadas para validação foram:

$$r_{\hat{y}} = \frac{\left[\sum_{i=1}^n y_i \hat{y}_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \hat{y}_i \right)}{n} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n} \right] \left[\sum_{i=1}^n \hat{y}_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \hat{y}_i \right)^2}{n} \right]}$$

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i) \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-1}}$$

em que:

Y_i e \hat{Y}_i = valores observado e estimado da variável sob análise;

n = número de casos.

4 –RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Na primeira etapa, utilizando a totalidade dos dados, foram treinadas 300 RNA de cada uma das combinações de entrada possíveis. As possíveis combinações foram: a) $f(\text{DAP}, \text{Ht}, \text{Tx1}, \text{Tx2})$, nesta primeira combinação de entrada (RNA1) foram utilizadas as variáveis binárias Tx1 e Tx2, para diferenciar a saída única de volume, em Volume total (V_t), Volume sem casca (V_{sc}) e Volume de cerne (V_{ce}); b) a outra combinação de entrada (RNA2), $f(\text{DAP}, \text{Ht}, \text{Ht/DAP})$, utilizando os três volumes estimados como dados de saída separadamente (V_t , V_{sc} , V_{ce}); c) sendo testado ainda a combinação (RNA3), $f(\text{DAP}, \text{Ht}, \text{Ht/DAP}, V_{2,3})$, utilizando o volume à 2,3 m ($V_{2,3}$) como dado de entrada, e ainda com as três saídas de volumes independentes; d) por fim foi testado estimar primeiro o volume de lenho separadamente (RNA4), e depois utiliza-lo como dado de entrada (V_{Test}) para estimar os demais volumes (V_{sc} , V_{ce}), logo a primeira rede deste treinamento ficou com a seguinte combinação $f(\text{DAP}, \text{Ht}, \text{Ht/DAP})$ com saída o V_t , depois treinou-se uma nova RNA com a combinação de entrada $f(\text{DAP}, \text{Ht}, V_{\text{Test}})$, com saída os volumes V_{sc} e V_{ce} (RNA5).

A Tabela 1 traz as arquiteturas e estatísticas, que são geradas pelo programa “STATISTICA 12” (Statsoft, INC, 2013) durante o treino das redes, das melhores RNA treinadas em cada uma das combinações de entrada. Essas mesmas estatísticas, índice de treino, índice de seleção e índice de avaliação, foram utilizadas para selecionar a melhor das 300 RNA treinadas com cada arquitetura de entrada. Para a avaliação dessas estatísticas, quanto mais próximo de zero mais precisa é a estimativa dos dados pela RNA.

Tabela 1 –Características das redes neurais utilizadas na estimação dos volumes

RNA	Dados de entrada	Arquitetura	Índice de Treino	Índice de Seleção	Índice de Avaliação
1	DAP, Ht, TX1, TX2	MLP 4:4-5-1:1	0,1528	0,1588	0,1720
2	DAP, Ht, Ht/DAP	MLP 3:3-10-3:3	0,1522	0,1723	0,1301
3	DAP, Ht, Ht/DAP, V2	MLP 4:4-10-3:3	0,1529	0,1342	0,2090
4	DAP, Ht, Ht/DAP	MLP 3:3-6-1:1	0,1440	0,1700	0,1566
5	DAP, Ht, Ht/DAP, Vtest	MLP 4:4-10-2:2	0,0127	0,0144	0,0141

A frequência relativa dos erros percentuais se mostrou dispersa na maioria dos casos, analisando as estatísticas: índice de treino, índice de seleção e índice de avaliação, como nos casos das RNA1, RNA2 e RNA3(Figura 2). Porém, ao utilizar duas redes neurais em conjunto, uma estimando o volume com casca (RNA4), e a outra utilizando o volume com casca estimado como dado de entrada e estimando os volumes sem casca e de cerne (RNA5), observou-se uma maior precisão das estimativas de volume de cerne, analisando as estatísticas de treino, que é o objetivo do presente estudo. Mais de 70% dos dados de volume de cerne estimados apresentaram erros em torno de $\pm 7,5\%$, o que representa uma ótima qualidade das estimativas.

Ao utilizar os volumes estimados na RNA4 como dado de entrada para a RNA5, de alguma forma a rede conseguiu captar o erro e absorver ruídos. Pode-se observar a superioridade da RNA5 sobre as outras comparando os índices de treino, de seleção, e de validação, que quanto mais próximas de zero melhor serão as estimativas (Tabela 1).

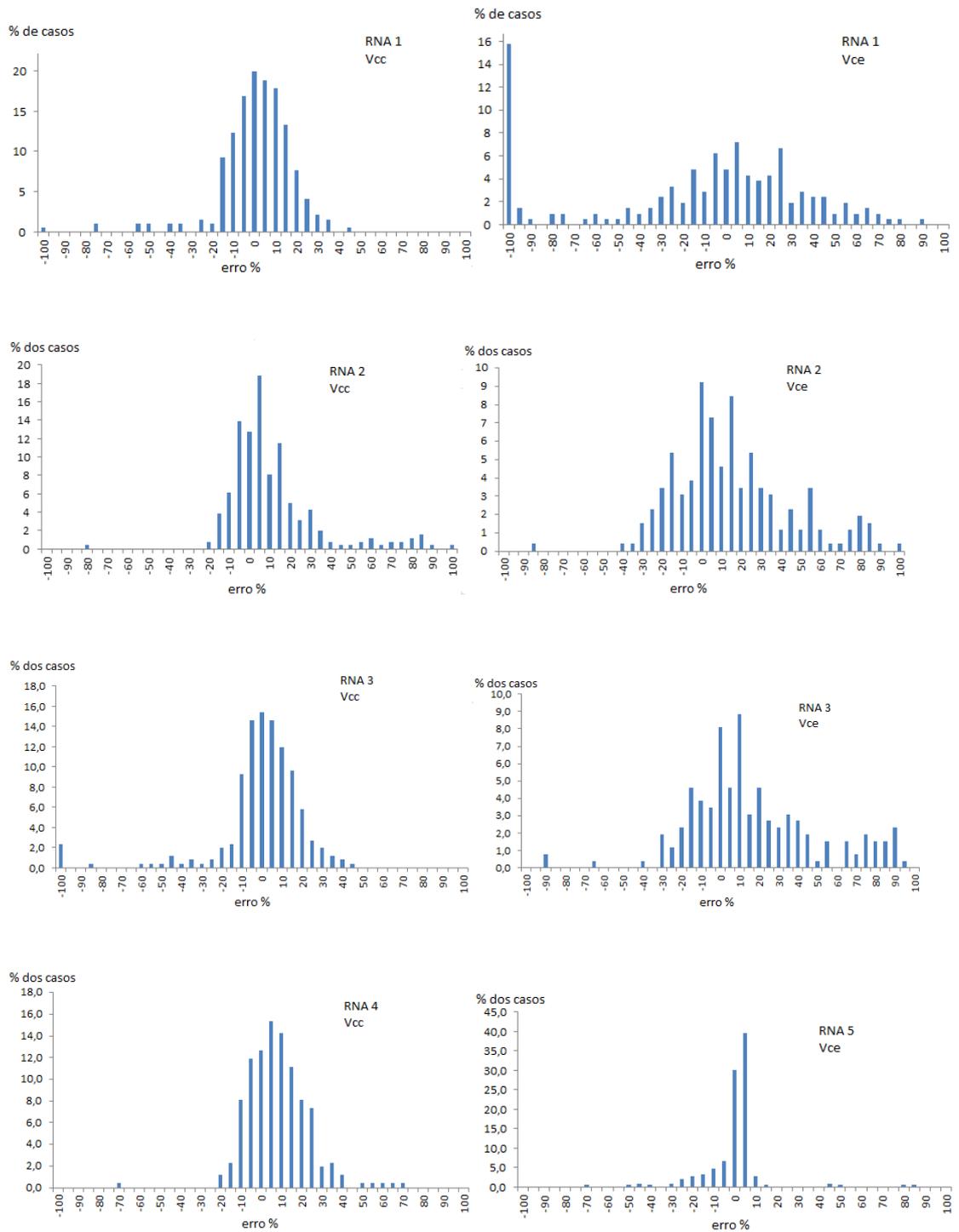


Figura 2 –Histogramas de frequência dos erros percentuais das RNAs para estimar os volumes com casca (Vcc) e de cerne (Vce); erro% = $100 \cdot (V_{est} - V_{obs}) / V_{obs}$

Na segunda etapa do estudo foi necessário estratificar os dados em classes de altura, para que fosse realizada a distribuição casual dos dados, mantendo a proporção das quantidades de indivíduos em cada classe de altura. Este processo foi necessário para validar a rede, ou seja, treinar outra rede com 70% dos dados, deixando os outros 30% para que a rede fosse testada com dados desconhecidos dos que ela foi gerada (generalização).

Quando analisado os histogramas de frequência dos erros percentuais, a precisão alcançada com a RNA5 não foi a mesma quando foi gerada a RNA6 utilizando os 70% (Figura 3). Porém ao analisar as estatísticas da associação entre variáveis e de exatidão, nota-se que os resultados obtidos na generalização dos dados são coerentes com os alcançados utilizando todos os dados (Tabela 2).

Quando se utilizou os 30% dos dados que não fizeram parte do treinamento, ou seja, dados desconhecidos pela rede, para estimar os volumes de cerne dos indivíduos, a RNA6 se mostrou coerente com os resultados obtidos na sua geração, tanto analisando os histogramas de frequência dos erros percentuais (Figura 4), quanto as estatísticas da associação entre variáveis e de exatidão (Tabela 2).

Ainda analisando a tabela 2, percebe-se a superioridade do método de Redes Neurais Artificiais em comparação com o modelo de Garay(1979) modificado, que também se mostrou eficiente, apresentado por Leite et al.(2011). Em todas as estatísticas, as estimativas obtidas com RNA foram mais precisas do que aquelas obtidas com o modelo Garay (1979) modificado.

Tabela 2- Estatísticas da associação entre variáveis, e de exatidão com 100% dos dados (RNA4 e RNA5), na geração da RNA com 70% dos dados (RNA6), na validação com 30% dos dados desconhecidos (RNA6-30%), e do modelo de Garay modificado (Leite et al, 2011).

Método	$r_{y\hat{y}}$	bias	RMSE
RNA4	0,9823	-0,0001	0,0224
RNA5	0,9680	0,00175	0,0133
RNA6	0,9830	-0,0007	0,0219
RNA6-30%	0,9892	0,00590	0,0259
Garay modificado	0,9660	-0,0144	0,0290

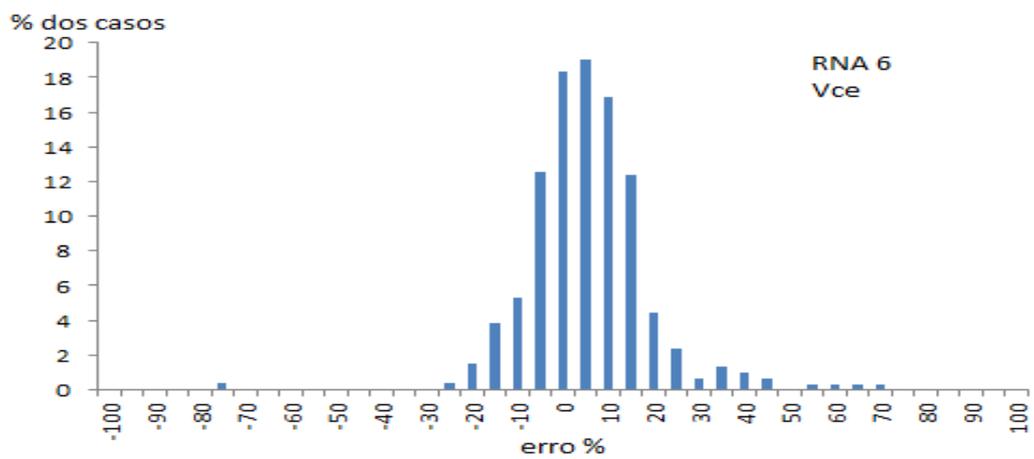
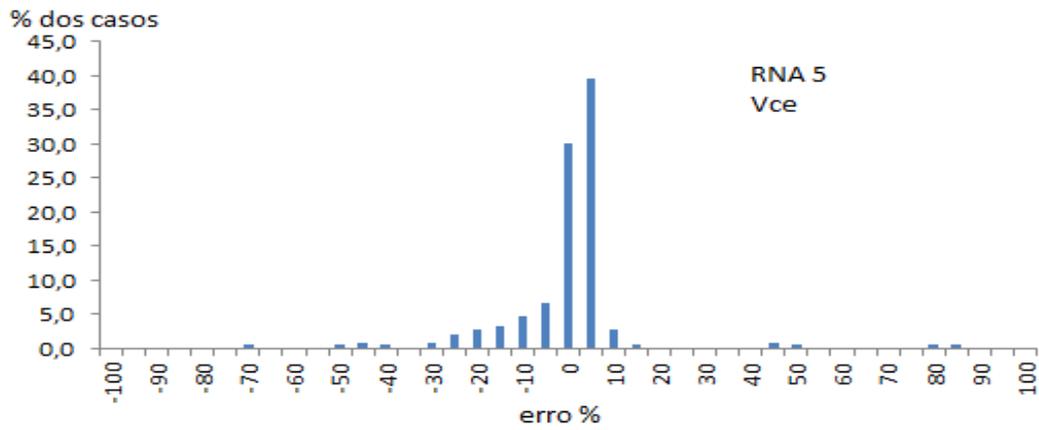


Figura 3-Histogramas de frequência dos erros percentuais da RNA5 com 100% dos dados, e RNA6 com 70% dos dados utilizadas para estimar os volumes de cerne (Vce).

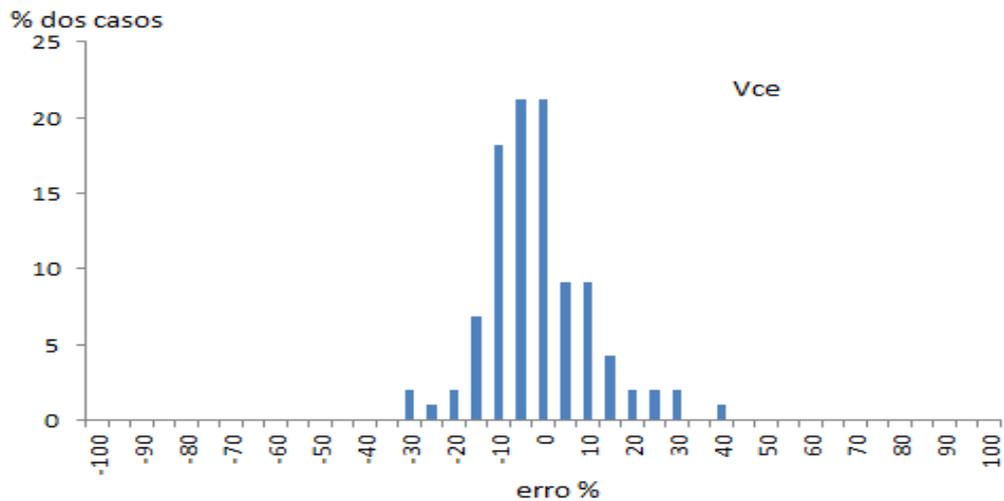


Figura 4 –Histograma de frequência dos erros percentuais da RNA6 quando utilizado os 30% dos dados desconhecidos pela rede para gerar os volumes de cerne (Vce).

Para uma maior precisão na análise dos resultados, podemos observar e comparar ainda os histogramas de frequência dos erros percentuais da RNA5, e pelo modelo de Garay modificado (Figura5).

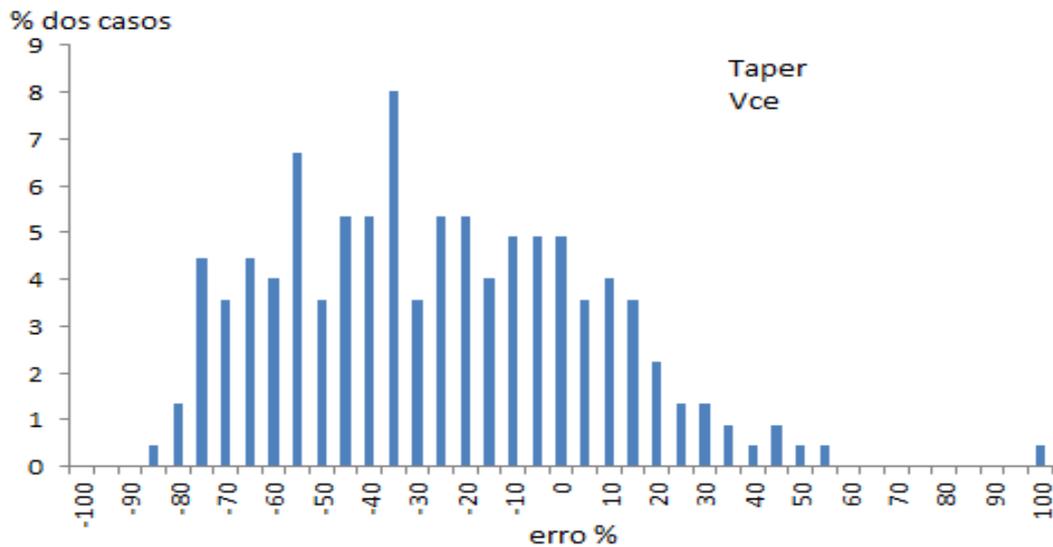


Figura 5 -Histograma de frequência dos erros percentuais do modelo de Garay(1979) modificado, quando utilizado 100% dos dados para gerar os volumes de cerne (Vce).

Analisando o gráfico de dispersão dos erros da RNA e utilizando o modelo de Garay modificado, contido na Figura 6, percebemos uma superioridade do modelo de Garay na dispersão dos pontos para volumes abaixo de $0,05 \text{ m}^3$. Porém essas são árvores de menor importância, já que a necessidade de se estimar o volume de cerne surge apenas com árvores de maior volume, ou seja, árvores mais velhas, com maiores DAP e altura, e para esses casos, indivíduos com volume de cerne acima de $0,05 \text{ m}^3$, o método de RNA demonstra uma melhor dispersão dos erros (Figura 6).

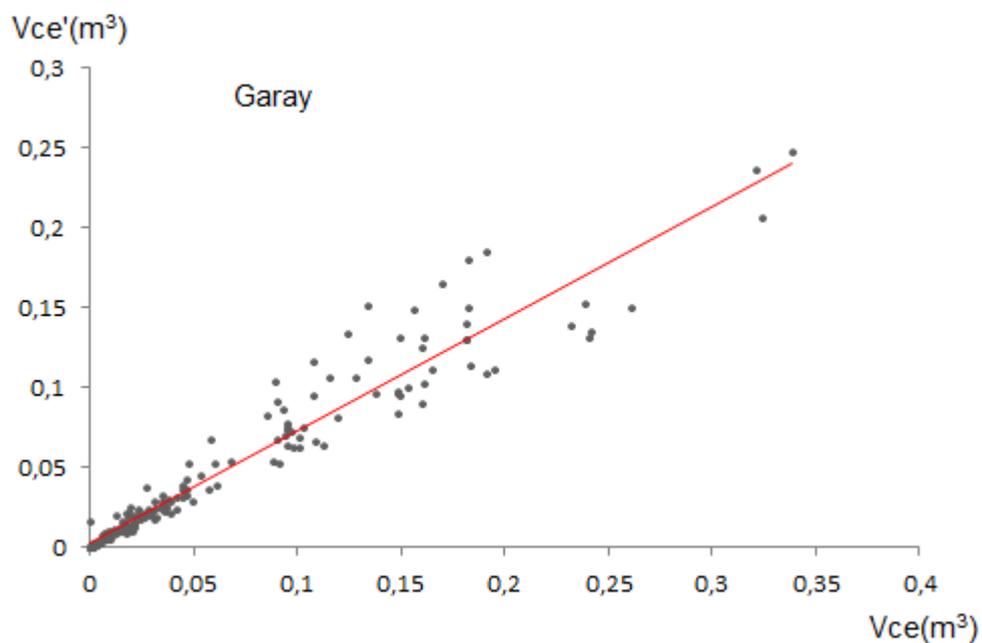
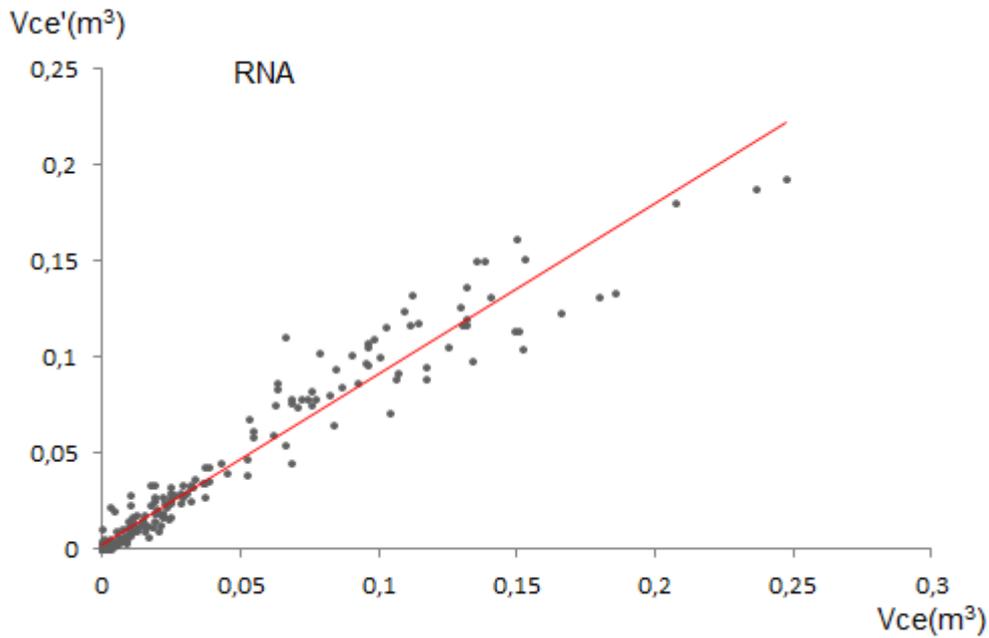


Figura 6 – Dispersão dos erros para volumes de cerne estimados (Vce') pela RNA e pelo modelo de Garay modificado (Leite et al, 2011), vs. volumes observados (Vce).

Os resultados deste estudo são compatíveis com aqueles obtidos por Leite *et al.* (2010) e comprovam mais uma vez a eficiência do emprego de RNA para estimar o volume de fuste e do cerne de árvores de teca.

A utilização da arquitetura da RNA desenvolvida durante este estudo é recomendada para usos práticos, já que o método se mostrou mais eficaz que o modelo de Garay modificado (Leite et al, 2011) quando utilizados para estimar volumes de árvores com maiores DAP e altura.

5 – CONCLUSÃO

Diante da análise das estatísticas de exatidão, e também da comparação dos histogramas de frequência dos erros percentuais dos métodos de estimação dos volumes de cerne de *Tectonagrandis*, foi possível concluir que Redes Neurais Artificiais são eficientes para estimar o volume de cerne de teca, podendo resultar em maior exatidão em comparação ao emprego de modelos de Taper.

6 –REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BINOTI, M. L. M. S., D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **Emprego de Redes Neurais Artificiais em Mensuração e Manejo Florestal.**Viçosa , MG.

BOTELHO, M. F.; CENTENO, J. A. S. Uso integrado de imagem de alta resolução espacial e altura derivada do *laser scanner* na escolha do classificador orientado a região. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 11, n. 1, jan./jun. 2005.

BRAGA, A. P., CARVALHO, A. P. L. F., LUDERMIR, T. B.. **Fundamentos de Redes Neurais Artificiais.** 11ª Escola de Computação. Rio de Janeiro, RJ.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDEMIR, T. B.. **Redes Neurais Artificiais – Teoria e Aplicações**, 2ª edição: Editora LTC, 2007.

CALDEIRA, B.R.P.R. **Caracterização das propriedades físico-mecânicas e determinação da porcentagem de cerne da madeira de *Tectonagrandis*.** Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; Instituto de Superior de Agronomia, 2004. 71p. Relatório.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** 3ed. Viçosa: UFV, 2009. 548p.

GARAY, L. Tropical forest utilization system. VIII. A taper model for entire stem profile including buttressing. Seattle: **Coll. Forest Res.**, Inst. Forest Prod. Univ. Wash. 1979. 64p.

GORGENS, E.B.; LEITE, H.G.; SANTOS, H.N.; GLERIANI, J.M. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.33, n.6, p.1141-1147, 2009.

HASELEIN, C.R.; LOPES, M.C.; SANTINI, E.J.; LONGHI, S.J.; TOSSO, S.; FERNANDES, D.L.G.; MENEZES, L.F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptusgrandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.2, p.145-155, 2004.

HAYKIN, S. **Redes Neurais – Princípios e práticas**. Editora Bookman, 2ª edição: 2001, 899p

KLITZKE, R.J.; SAVIOLI, D.L.; MUNIZ, G.I.B.; BATISDA, D.C. Caracterização dos lenhos de cerne, alburno e transição de jatobá (*hymenaeasp.*) visando ao agrupamento para fins de secagem convencional. **ScientiaForestalis**, Piracicaba, v.36, n.80, p.279-284, 2008.

KOVÁCS, Z.L. **Redes Neurais Artificiais: Fundamentos E Aplicações**. 2a Ed. São Paulo, CollegiumCognitio. 1996.

LEITE, H.G.; OLIVEIRA-NETO, R.R.; MONTE, M.A.; FARDIN, L.; ALCANTARA, A.M.; BINOTI, M.L.M.S.; CASTRO, R.V.O. Modelo de afilamento de cerne de *Tectonagrandis*L.f. **ScientiaForestalis**, Sci. For., Piracicaba, v.39, n. 89 mar. 2011a.

LEITE, H.G.; SILVA, M.L.M.; BINOTI, D.H.B.; FARDIN, L.; TAKIZAWA, F.H. Estimation of inside-bark diameter and heartwood diameter for *Tectonagrandis* Linn. Trees using artificial neural networks. **European Journal of Forest Research**, Springer-Verlag 2010.

PANDEY, D.; BROWN, C. **Teak: a global overview**. *Unasylva*, v.51, n.201, p. 3-13, 2000.

SCHOENINGER, E.R.; KOEHLER, H.S.; BOTELHO, M.F.; WATZLAWICK, L.F.; OLIVEIRA, P.C. Uso de redes neurais artificiais para mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de uma floresta ombrófila densa. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v.4 n.2, p.179-195, Ago. 2008.

TONINI, H. et al. Crescimento da teca (*Tectonagrandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.59, p.05-14, 2009.