



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS DE GURUPI  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**MATHAUS MESSIAS COIMBRA LIMEIRA**

**Uso de redes neurais artificiais e modelos de regressão para  
estimar volume de espécies nativas em Portel-PA**

Gurupi/TO  
2019

**Mathaus Messias Coimbra Limeira**

**Uso de redes neurais artificiais e modelos de regressão para  
estimar volume de espécies nativas em Portel-PA**

Artigo foi avaliada(o) e apresentada (o) à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi, Curso de Engenharia Florestal para obtenção do título de Bacharel e aprovada (o) em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Cristina Bueno Coelho

Gurupi/TO  
2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

L733u Limeira, Mathaus Messias Coimbra.

Uso de redes neurais artificiais e modelos de regressão para estimar volume de espécies nativas em Portel-PA. / Mathaus Messias Coimbra Limeira. – Gurupi, TO, 2019.

31 f.

Artigo de Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Engenharia Florestal, 2019.

Orientadora : Maria Cristina Bueno Coelho

1. Manejo Florestal. 2. Redes Neurais Artificiais. 3. Cubagem Rigorosa. 4. Árvores Individuais. I. Título

**CDD 577.272**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

LIMEIRA, Mathaus Messias Coimbra. Uso de redes neurais artificiais e modelos de regressão para estimar volume de espécies nativas em Portel-PA. 2019. 31 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2019.

### Resumo

A compreensão do potencial produtivo madeireiro de espécies nativas contribui para o manejo sustentável. O objetivo do presente estudo foi comparar as estimativas do volume obtidas por equações de regressão com redes neurais artificiais (RNA) para áreas nativas sob plano de manejo na região de Portel-PA a partir dos dados de cubagem rigorosa de 864 árvores (46 espécies) com  $DAP \geq 45$  cm de uma Unidades de Produção Anual (UPA) manejada em 2015. Sendo esta pertencente a fazenda Uberlândia-PR, localizada na Gleba Joana Perez I s/n zona rural, entre os municípios de Bagre, Portel, Baião e Oeiras no Estado do Pará, em área de Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme. O processamento dos dados visou selecionar o melhor modelo de regressão considerando a UMF 1. A equação com melhor desempenho foi escolhida de acordo com a raiz do erro quadrado médio em porcentagem (RMSE%), correlação de Pearson e gráfico de resíduos percentuais. Para a seleção da melhor rede e a sua respectiva comparação com a melhor equação de regressão ajustada, as estatísticas utilizadas foram: RMSE%, correlação de Pearson entre o volume observado e estimado e bias. A equação com melhor desempenho, para todas as UPAs, foi a de Spurr 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. No entanto, a RNA mostrou-se ligeiramente superior evidenciando maior precisão em relação à regressão na estimativa de volume.

**Palavras-chave:** Inteligência artificial, cubagem rigorosa, árvores individuais e manejo florestal.

---

LIMEIRA, Mathaus Messias Coimbra. Use of artificial neural networks and regression models to estimate the volume of native species in Portel-PA. 2019. 31 p. monograph (Bachelor of Forestry Engineering)- Federal University of Tocantins, Gurupi, 2019.

## **ABSTRACT**

Understanding the productive potential of native species contributes to sustainable management. The objective of the present study was to compare the volume estimates obtained by regression equations with artificial neural networks (RNA) for native areas under a management plan in the Portel-PA region, based on the strict cubing data of 864 trees (46 species) with  $DAP \geq 45$  cm of an Annual Production Units (UPA) managed in 2015. This being owned by the Uberlândia-PR farm, located in Gleba Joana Perez I s / n rural area, between the municipalities of Bagre, Portel, Baião and Oeiras in the State of Pará, in the Dense Ombrophylous Forest of Terra Firma. Data processing aimed to select the best regression model considering the four UPAs in the area of management. The best performance equation was chosen according to the root mean square error in percentage (RMSE%), Pearson's correlation and percent residuals graph. For the selection of the best network and its respective comparison with the best adjusted regression equation, the statistics used were: RMSE%, Pearson correlation between observed and estimated volume and bias. The best performance equation for all UPAs was the Spurr equation, which was later compared to the best RNA obtained from the data training. It was found that both methods presented acceptable adjustment and precision statistics, with potential use to estimate the volume of the species. However, RNA was slightly higher, showing greater precision in relation to the regression in the volume estimate.

**Keywords:** Artificial intelligence, strict cubing, tree volume and forest management.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Arquitetura Da Rede Neural Artificial Testada .....	7
Figura 2 - Estabilização Do Número De Camadas Ocultas De Acordo Com A Correlação, Variância, Rqme E Sqr .....	11
Figura 3 - Histograma Da Distribuição Diamétrica De Acordo Com O Número De Indivíduos Por Ha Em Relação Aos Centros De Classes Do Dap's Para As Redes 299,270,241 e Modelo De Spurr.....	12
Figura 4 - Analise Gráfica De Resíduos Da Modelagem Volumétrica Determinada Pelas Redes Neurais E Pela Equação De Spurr .....	13
Figura 5 - Modelagem Volumétrica Determinada Pelas Redes Neurais E Pela Equação De Spurr .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos Matemáticos. ....	6
Tabela 2 - Estatística Descritiva Das Variáveis Analisadas .....	8
Tabela 3 - Distribuição Das Árvores Cubadas Por Espécie .....	9
Tabela 4 - Modelos Matemáticos, Equações E Parâmetros Estatísticos	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 10
Tabela 5 - Tratamentos Testados Para Análise Volumétrica .....	13
Tabela 6 - Análise De Variância Para Os Tratamentos Avaliados.....	13
Tabela 7 - Determinação Dos Erros Para Cálculo Do Volume	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 4
Tabela 8 - Qui Quadrado.....	<b>Erro!</b> <b>Indicador não definido.</b> 6

## **LISTA DE SIGLAS**

(EIR)	Exploração De Impacto Reduzido
(RNA)	Redes Neurais Artificiais
(UMF)	Unidade De Manejo Florestal
(AMW)	Clima Tropical Úmido
(DAP)	Diâmetro Altura Do Peito
(HC)	Altura Comercial
(VC)	Volume Comercial
(R <sup>2</sup> )	Coefficiente De Determinação
(SYX)	Erro Padrão Da Estimativa Absoluto E Em Porcentagem
(RQME)	Raiz Do Quadrado Médio Do Erro

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E METODOS.....	2
2.1 Cubagem das arvores selecionadas.....	5
2.2 Modelos de regressão e redes neurais.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 6
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	8
4. CONCLUSÕES.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo florestal consiste em administrar a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentabilidade do ecossistema. O Brasil ocupa uma área de 8.514.876 Km<sup>2</sup>, sendo que 5.217.423 km<sup>2</sup>, ou seja, corresponde a 61% do território brasileiro estão dentro da Amazônia Legal (IBGE, 2019). Está inserido nos quatro ecossistemas: cerrado, pantanal, floresta amazônica e área de transição, objeto do manejo e considerando-se cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplos produtos e subprodutos madeireiros e não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal consta do Art. 25, parágrafo único do decreto 8.188/2006. (AMARAL, 2002).

Estes sistemas utilizam as melhores técnicas de exploração disponíveis, visando reduzir os danos da floresta, o desgaste do solo, erosão, além de proteger as bacias hidrográficas, atenuar o risco de incêndios e permitem a manutenção da regeneração natural e proteção da diversidade biológica.

Várias espécies nativas têm potencial econômico produtivo em sua localidade de ocorrência natural, podemos citar a *Manilkara huberi* Ducke (Masaranduba) destacando-se pelo uso madeireiro no mercado pelos mais diferentes ramos, desde a construção civil, naval, móveis (CARVALHO, 2003). *Dinizia excelsa* Ducke (Angelim Vermelho) usada em construções pesadas, na carpintaria, marcenaria, na construção naval, carrocerias, pisos industriais, assoalhos, dormentes, cabos para ferramentas, *Couratari oblongifolia* Ducke & Kunth (Tauari) usada em Painéis compensados, embalagens, peças encurvadas e torneadas, móveis de uso geral e partes interiores na construção civil (caixilhos, esquadrias, forros, rodapés, lambris e similares) e *Goupia glabra* Aubl. (Cupiubá) em construções externas como estruturas, postes, moirões, dormentes, cruzetas; em construções internas como vigas, caibros, ripas, tacos e tábuas de assoalho, marcos ou batentes de portas e janelas; mobiliário de madeira sólida, torneados, carrocerias, etc. É usada ainda na fabricação de artigos de esporte e brinquedos, lápis, palitos de fósforos, bobinas e carretéis (LORENZI, 1992; RIBASKI et al., 2003; VIEIRA et al., 2005; MAIA, 2004; BARBOSA, 2008).

O potencial econômico madeireiro destas espécies é mensurado a partir de estimadores volumétricos. A estimativa do volume de madeira de florestas nativas normalmente é realizada por meio de inventário florestal, utilizando-se um conjunto de dados como base para se realizar inferências sobre as variáveis de altura, volume e número de árvores por hectare (MACHADO et al., 2000). Na literatura os trabalhos relacionados com volumetria em espécies nativas ainda são escassos e necessita conhecer o manejo, planejamento e sustentabilidade da produção.

A regressão pode ser amplamente utilizada nas estimativas e prognoses da produção madeireira, constituindo um procedimento eficiente (SANTANA & ENCINAS, 2004; MACHADO et al., 2002). Para a estimativa do volume de árvores, é comum o emprego de modelos de regressão com as expectativas de altura (CAMPOS; Leite, 2013). Porém, recentemente, vem sendo estudada a utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA) para a estimação dessas variáveis, e foram encontrados resultados satisfatórios de sua aplicação, muitas vezes até superiores (BINOTI, 2012).

O uso de ferramentas de inteligência artificial na modelagem de crescimento e produção ainda é um assunto novo e pouco explorado no Brasil. Em Ciência Florestal, diversos tópicos podem ser potencialmente tratados por RNAs, entre eles a modelagem do volume de árvores, relações hipsométricas e equações de TAPER, obtendo resultados expressivos (GARBER 2003; BINOTI et al., 2013; BINOTI et al., 2012a; BINOTI et al., 2012b; BINOTI, 2010; LEITE et al., 2010; SILVA et al., 2009; DIAMANTOPOULOU, 2005). As RNAs, por outro lado, são aproximadores universais que aprendem com os dados, considerando que os dados falam por si e, têm apresentado excelentes resultados na solução de problemas nas mais diversas áreas do conhecimento humano, principalmente na solução de problemas em ambientes mapeados por variáveis de domínios imprecisos, como no caso do problema da determinação do volume comercial de espécies florestais.

Diante do exposto esta pesquisa tem como objetivo estimar o volume de madeira de espécies nativas provenientes de PMF com o uso de redes neurais artificiais comparando com método de regressão linear na estimativa de volume.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado na unidade de Manejo Florestal, na fazenda Uberlândia-PA, localizada na Gleba Joana Perez I s/n zona rural, entre os municípios de Bagre, Portel, Baião e Oeiras no Estado do Pará. Essa Unidade de Manejo Florestal (UMF I) possui uma área de 45.657,5 ha, e está localizada entre os municípios de Santarém e Juruti, Estado do Pará, onde em 2012 iniciou-se sua produção no mês de junho, sendo manejada uma área de 3.000 ha, que foi certificada com o selo FSC no dia primeiro de outubro do mesmo ano.

De acordo com a descrição do projeto RADAM (1974) a área de manejo está localizada na região classificada como planalto rebaixado da Amazônia (Baixo Amazonas) numa região

de baixos platôs. O planalto rebaixado da Amazônia é a extensa superfície do Pediplano Pleistocênico que limita as margens do rio com a planície amazônica; ao sul com a depressão periférica do Sul e ao norte com o Planalto da bacia sedimentar do Amazonas. Na região em questão o pediplano é conservado apesar da densa cobertura florestal, contudo na carta de Cametá (IBGE MIR-101 e MIR-122 na escala 1:250.000) na margem esquerda do rio Tocantins aparecem áreas isoladas, deprimidas apresentando depósitos arenosos, sujeitas a inundação cobertas por vegetação rasteira (RADAM,1974).

No interior da Área de Manejo Florestal (AMF) existem os seguintes rios principais, como Pacajá, Moconha, Castanha, Arraia, Jacundá, além de muitos outros pequenos igarapés e grotões que serão demarcadas nos levantamentos de campo feitos anualmente e submetidas a um regime de proteção como áreas de preservação permanente conforme estabelecido pelo código florestal brasileiro.

Segundo a classificação de Koppen a região apresenta clima tropical úmido (Amw), caracterizado por apresentar chuvas do tipo monção, isto é, quando apesar de oferecer uma estação seca de pequena duração, possui umidade suficiente para alimentar a floresta tropical. Mantém elevados índices pluviométricos (cerca de 2.400mm de chuva), alta temperatura média do ar (26°C), e umidade relativa superior a 85%. RADAM (1974). Segundo IBGE (1990) as médias anuais compensadas situam-se entre 25° e 27°C. As médias máximas anuais ficam entre 31°C e 33°C e a média das mínimas entre 21°C e 24°C. Quanto ao regime pluviométrico, a região é privilegiada no que diz respeito aos totais anuais, geralmente entre 1800 e 2800 mm, porém está sujeito a importantes flutuações no decorrer do tempo. As chuvas apesar de regulares, não se distribuem igualmente durante o ano, sendo caracterizado com uma divisão nítida em um período com chuvas abundantes de janeiro a julho, e outro, com baixas precipitações, de agosto a dezembro. Ainda segundo IBGE (1990), a região (cita Cametá) apresenta pequenos déficits hídricos com valores situados entre 111 mm e o período tem de três a cinco meses secos, sendo caracterizado entre setembro e dezembro, na região que compreende Breves, Porto de Moz e Cametá.

De acordo com SUDAM (1974), a região ao Norte é de origem do período Quaternário, com sedimentos de areia e argila formadas pelos rios, ou às vezes pelo mar. Ao Sul é Terciário, com sedimentos principalmente de argila, com areia e camadas de pedras de areia. Segundo IBGE (1990) as rochas da cobertura sedimentar mesozóica constituem a formação Alter do Chão de idade cretácea e que representa a unidade de mapeamento de maior distribuição na

área do planalto da bacia sedimentar do Amazonas. Esta formação sustenta os relevos do planalto rebaixado da Amazônia na qual a área do plano está inserida.

De acordo com informações obtidas do mapa de solos do Estado do Pará, produzido pela EMBRAPA (1992) na escala de 1:2.000.000, o solo predominante da região é o Latossolo Amarelo Distrófico, textura argilosa e o Latossolo Amarelo Distrófico Concrecionário, textura argilosa. Porém, informações obtidas no Departamento de Solos de EMBRAPA-CPATU (informações pessoais obtidas do Dr. Tarcísio Ewerton Rodrigues - EMBRAPA/CPATU) além destes são encontrados também Argissolo Amarelo Distrófico de textura média a argilosa, em terra firme. Nas áreas de campos naturais ocorre o Espodossolo Cárbicos Hidromórficos e o Espodossolo Ferrocárbico. Nas áreas de várzea são encontrados Neossolos Quartzarênico (areia quartzozas).

A vegetação do Pará é predominantemente composta pela Floresta Amazônica (floresta tropical pluvial). Em mata de terra firme são encontradas as castanheiras, enquanto em áreas de mata de várzea, encontram-se as seringueiras. Na Ilha do Marajó e nas várzeas de alguns rios são encontrados campos limpos e ao longo do litoral são mangues.

De acordo com os levantamentos do RADAM (1974) predomina no município de Portel a Floresta Ombrófila, ocupada por platôs e planícies aluviais. A Ombrófila densa apresenta-se nas áreas sedimentares dos baixos platôs, com cobertura arbórea com emergentes (fdhe) representada pelas comunidades de sucupira, maçaranduba e louros como espécies dominantes e raros angelins e cedros.

Nas áreas de planícies aluviais com vegetação variando em função do regime das águas e as áreas de alagamento periódico a vegetação florestal é representada na maior parte por vegetação latifoliada (Fdpl) caracterizado pelas comunidades de mandioqueira, anani, ucuúba, macacaúba, andiroba, acapu, maçaranduba, açacu, breus e vegetação mista de açaí e buriti (Fdpm). Ainda nestas áreas de relevo levemente ondulado, observam-se pequenas depressões onde ocorrem as vegetações dos igapós (Fdpi). São observadas também formações campestres. Nas áreas mais baixas, deprimidas, que sofrem alagamento permanente, compreendendo a vegetação de igapó foram observadas a presença de açaí, *Euterpe oleraceae*, ucuúba, *Tomovita* spp. e *Clusia* spp.

Levantamentos florestais realizados pela missão FAO na Amazônia - 1956/1961, na região de Portel encontraram um volume de 50 m<sup>3</sup> de madeira, para indivíduos com DAP acima

de 45 cm, pertencentes a espécies classificadas como produtoras de madeira serrada, laminados e compensados. Na região de Caxiuanã o volume encontrado para o mesmo grupo foi de 63 m<sup>3</sup>.

### 2.1 Cubagem das árvores selecionadas

O método utilizado para a cubagem rigorosa foi o de Smalian. Foi realizado o planejamento para a que a coleta de dados abrangesse a variabilidade das espécies, circunferências e alturas das árvores comerciais presentes na área da floresta estudada.

A seleção das árvores para a cubagem foi realizada a partir da distribuição da frequência diamétrica. Foi feita a seleção e a cubagem rigorosa de árvores-amostra abatidas com DAP  $\geq$  45 cm de forma a contemplar toda a distribuição diamétrica encontrada na área inventariada. O número de árvores a ser cubadas foi definido através da seguinte fórmula estatística descrita por Mello, 2004:

$$n = \frac{t^2 \cdot (CV\%)^2}{E^2\%}$$

Em que: t = valor tabelado (Student) conforme o “n” e o nível de precisão requerido de 95% de probabilidade de confiança sendo 1,67; CV% = coeficiente de variação de uma amostra piloto composta de árvores cubadas rigorosamente em percentagem e E = erro pré-estabelecido, neste caso utilizado 10%, n = número de árvores a serem cubadas rigorosamente.

Para definir quantas árvores deveriam ser cubadas rigorosamente, foi necessário estabelecer uma amostra piloto, de tal forma, que se tenha ideia da variabilidade entre os volumes das árvores que compõem a floresta considerada (Mello, 2004). Seguindo este preceito foram cubadas 864 árvores (pois estas foram autorizadas para exploração) na determinação do volume rigoroso utilizando a metodologia de Smalian, que indica que o volume de cada seção foi somado para obter o volume total das toras de acordo com a seguinte expressão (Finger, 1992):

$$v = v_0 + \sum_{i=1}^n v_i + v_c$$

Em que: v = volume, v<sub>0</sub> = volume do toco, v<sub>i</sub> = volume das seções transversais e v<sub>c</sub> = volume do cone.

Os dados destas árvores serviram de base para o ajuste dos modelos de volume relacionados na Tabela 1. Os modelos de volume testados foram selecionados na literatura existente sobre o tema (Loetsch et al., 1973).

Tabela 1: Modelos matemáticos testados para determinação do volume estimado

1	Berkhout	$V = b_0 + b_1 * dap$
2	---	$V = b_0 + b_1 * \log dap + b_2 * dap$
3	S.H.Spurr (1952)	$V = b_0 + b_1 * dap^2 * h$
4	---	$V = b_0 + b_1 * (1/dap)$
5	---	$V = b_0 + b_1 * (1/d) + b_2 * dap$
6	Brenac	$V = b_0 + b_1 * \log dap + b_2 * 1/dap$
7	Shumacher-Hall	$V = b_0 + b_1 * \log dap^2 + b_2 * \log h$
8	S.H Spurr (1952)	$V = b_0 + b_1 * \log dap^2 * h$
9	---	$V = b_0 + b_1 * dap + b_2 * h$

Em que: V = volume em m<sup>3</sup>, b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> = coeficientes da regressão, d = diâmetro a altura do peito em cm, h = altura comercial em m.

Das 864 árvores, selecionou-se 120 por classe de DAP (diâmetro na altura do peito), pela fórmula abaixo, para validar a equação, permanecendo 744 árvores para montar a matriz de variáveis e encontrar o modelo matemático. As 120 árvores para teste e validação, foram escolhidas dentro de todas as classes diamétricas, ou seja: De 50 a 59,9 cm – 20 árvores; De 60 a 69,9 cm – 20 árvores; De 70 a 79,9 cm – 20 árvores; De 80 a 89,9 cm – 15 árvores; De 90 a 99,9 cm – 15 árvores; De 100 a 109,9 cm – 15 árvores; De 110 a 119,9 cm – 10 árvores; > 120 cm – 5 árvores;

Os modelos matemáticos foram encontrados através da matriz de variáveis (744 indivíduos) utilizando o software MINITAB 16®. As 120 árvores da validação não fizeram parte dos cálculos para se encontrar o modelo matemático, só foram testados por eles e comparados o volume real; após a aplicação da metodologia na planilha do MICROSOFT EXCEL 2010.

## 2.2 Modelos de regressão e Redes Neurais

O modelo de regressão foi ajustado a partir da análise de correlação entre as variáveis medidas na floresta, com o volume por parcela. Para estimar o estoque em volume total de cada parcela foram utilizados os procedimentos de regressão linear múltiplo (método dos mínimos quadrados ordinários/MQO), e redes neurais artificiais.

As configurações de RNA testadas variaram em relação ao número de neurônios na camada oculta. Os testes foram realizados no sistema Neuro4 e as estimativas foram avaliadas pelo coeficiente de correlação, raiz quadrada do erro quadrático médio (RQME%), soma dos quadrados residuais (SQR), variância média e análise gráfica de resíduos.

A estimação do volume comercial de árvores pode ser feita por meio de diversas configurações de RNA, foi utilizado o algoritmo de aprendizagem *Resilient Propagation*, proposto por Riedmiller e Braun (1993), como alternativa mais eficiente e recomendada para RNA<sup>s</sup> do tipo *Multilayer Perceptron* com o número de neurônios ocultos variando entre 01 e 15. A função de ativação foi sigmoide com três mil ciclos, sendo 70% para treinamento e 30% para validação.

Foram testadas 20 redes para cada quantidade de camadas ocultas totalizando 300 redes treinadas ao final (20 redes x 15 quantidades diferentes de camadas ocultas). Foram utilizadas 20 variáveis de entrada, sendo elas: Altura comercial (Hc), e circunferência em 19 alturas diferentes das árvores (variando desde a base até 34 metros de altura), e como variável de saída foi usado o Volume comercial (Vc).

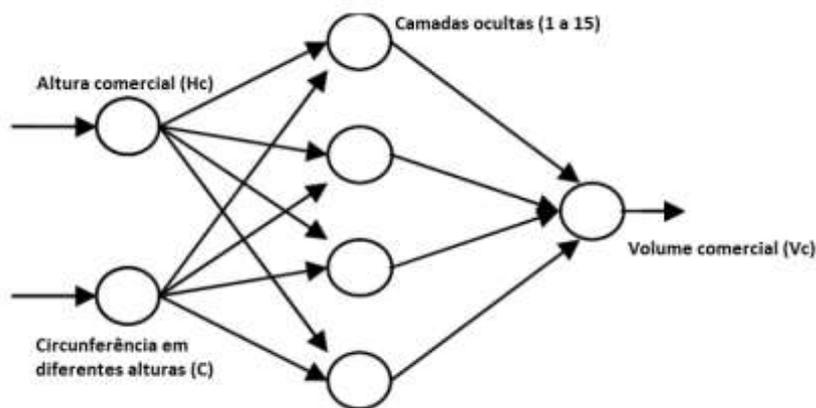


Figura 1: Arquitetura da rede neural artificial testada.

Trabalhar com redes neurais artificiais requer os seguintes passos:

- Coleta de dados relativos ao problema e separação em dois conjuntos, um para treinamento e outro para teste de validação da RNA. Esta tarefa requer uma análise cuidadosa sobre o problema, para minimizar erros nos dados. Além disso, os dados coletados devem ser significativos e cobrir amplamente o domínio do problema, inclusive as exceções.

- Definição da configuração da RNA, que compreende: a seleção do paradigma neural apropriado à aplicação, a determinação da topologia a ser utilizada (número de camadas, número de neurônios de cada camada, etc.) e a determinação dos parâmetros do algoritmo de treinamento e funções de ativação dos neurônios da rede. Este passo tem grande impacto no desempenho da solução resultante.

- Treinamento da RNA. Neste passo, o algoritmo de treinamento escolhido, ajusta os pesos das conexões dos neurônios. É importante ressaltar que uma boa escolha dos valores iniciais dos pesos da rede pode diminuir o tempo necessário para o treinamento. Normalmente, os valores iniciais dos pesos são números aleatórios uniformemente distribuídos, em um intervalo definido. O treinamento deve ser interrompido quando a rede apresentar uma boa capacidade de generalização e quando a taxa de erro for suficientemente pequena, ou seja, menor que um erro admissível.

- Teste da rede. Neste passo, o conjunto de teste é utilizado para determinar a performance e a validação da RNA. Finalmente, com a rede treinada e avaliada, ela pode ser integrada ao sistema do ambiente operacional do problema.

- Os critérios escolhidos para comparação entre a técnica de regressão e redes neurais artificiais, na estimativa do volume, foram: Erro médio Absoluto (EM), erro médio relativo (EMR) coeficiente de determinação ( $R_{aj}^2$ ), erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ) e análise gráfica dos resíduos (Draper e Smith, 1998). Sendo descritos pelas fórmulas:

$$EM = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{V_{TC} - \hat{V}_{TC}}{n} \right]$$

$$EMR = 100 * \left[ \frac{EM}{\overline{V_{TC}}} \right]$$

$$S_{\hat{V}_{TC}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(V_{TC} - \hat{V}_{TC})^2}{n}}$$

Em que: EM= erro médio absoluto; EMR = erro médio relativo;  $V_{TC}$  = volume total observado;  $\hat{V}_{TC}$  = volume total estimado; n = número de observações;  $S_{\widehat{V}_{TC}}$  = erro padrão da estimativa.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As estatísticas descritivas (Tabela 2) apresentam grande variabilidade, principalmente dos volumes, refletindo uma característica de florestas nativas. A curtose indica curva leptocurtica e a assimetria assimétrica positiva para CAP e volume e negativa para H comercial indicando que existe um grande número de árvores concentradas nas menores alturas. A dispersão dos dados das variáveis H comercial, CAP e volume são considerados altos ( $CV\% > 20$ ), indicando elevada variação que é o esperado para áreas nativas (Gomes, 1990).

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis analisadas

Variáveis	H comercial (m)	CAP (cm)	Volume Comercial (m <sup>3</sup> )
Média	20,07	269,17	11,67
Erro padrão	0,16	2,50	0,27
Mediana	20,10	255,00	9,50
Modo	20,00	200,00	13,01
Desvio padrão	4,74	73,34	8,03
Variância da amostra	22,42	5379,45	64,56
CV (%)	23,61	27,24	68,80
Curtose	0,58	1,21	7,45
Assimetria	-0,107	1,054	2,220
Intervalo	28,20	456,00	63,77
Mínimo	8,00	134,00	1,50
Máximo	36,20	590,00	65,27
Soma	17340,91	232559,00	10082,04
Contagem	864,00	864,00	864,00

As árvores cubadas por classe diamétrica foram correspondentes à distribuição de frequência absoluta do povoamento por classe variando de 15 a 20%.

Tabela 3: Distribuição das árvores cubadas por espécie

Nome científico	42, 5	47, 5	52, 5	57, 5	62, 5	67, 5	72, 5	77, 5	82, 5	87, 5	92, 5	97, 5	>10 0	Tota 1
<i>Acosmium nitens</i> (Vogel) Yakovlev					1									1
<i>Astronium lecointei</i> Ducke						2	3	7	3	4	2	1	6	28
<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.							1		1	1	1		3	7
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.							3							3
<i>Buchenavia capitata</i> (Vahl) Eichler											1			1
<i>Buchenavia parvifolia</i> Ducke						1								1
<i>Buchenavia tetraphylla</i> (Aubl.) R.A.Howard					3	2	3	2	2	3			4	19
<i>Caraipa grandiflora</i> Mart.						2								2
<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Willd.													1	1
<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.												1		1
<i>Cedrus libani</i> A. Rich			1											1
<i>Cordia goeldiana</i> Huber		1	1	2	1	1	1	1						8
<i>Couepia bracteosa</i> Benth.							1		1			1	1	4
<i>Couratari guianensis</i> Aubl.				3	11	5	12	14	9	16	7	5	17	99
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke			1	1		1	2	4	2	4	3	4	55	77
<i>Diploptropis nitida</i> Benth.										2				2
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.					2	1	2	1	4	1		1	4	16
<i>Enterolobium glaziovii</i> (Benth.) Mesquita								1	1				1	3
<i>Goupia glabra</i> Aubl.			2	7	4	11	7	13	6	4	4	4	18	76
<i>Hymenaea courbaril</i> L.					2	3	1		1	3	5	7	7	22
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke							1				2	3	10	16
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.		1		1					2	1			3	8
<i>Licaria cannella</i> Kurz			1	1	4	3	7	5	1	6	4	5	18	57
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chev.	1	5	24	23	20	31	23	21	17	15	8	37	225	
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez							1							1
<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre			2	3	5	3	6	9	7	7	3	3	5	53
<i>Ocotea baturinsis</i> Vattimo		1	2	1										4
<i>Ocotea cymbarum</i> Kunth.				1			1			1				3
<i>Ocotea glomerata</i> (Nees) Mez			1											1
<i>Ocotea canaliculata</i> (Rich.) Mez			1											1
<i>Ormosia excelsa</i> Benth.								1						1
<i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke.										1	1			2
<i>Platymiscium ulei</i> (Jacq.) Dugand					1									1
<i>Pouteria Guianensis</i> Aubl.			1	1			1	1	1				1	6
<i>Pouteria pachycarpa</i> Pires.			1	2										3
<i>Pseudopiptadenia psilostachya</i> G.P.Lewis & M.P.Lima				3	7	5	8	13	5	7	7	2	7	64
<i>Sacoglottis guianensis</i> Ducke			2	3	4			1						10
<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze		2	5	4	2	4	2	2						21
<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	1		4	4	1	3								13
<i>Zollernia paraenses</i> Huber				1		1								2

A tabela 4, abaixo, mostra os modelos matemáticos encontrados (equações) e parâmetros estatísticos utilizados para a escolha do modelo mais adequado.

Tabela 4: Modelos matemáticos, equações e parâmetros estatísticos.

Nº	Equações	F	R <sup>2</sup> (%)	CV(%)	Sy.x
1	$V = -14,191 + 0,30037 * DAP$	4224,18	85,51	0,92	3,056
2	$V = -3,841 + 2,611 * \log DAP - 0,00209 * DAP$	2672,64	88,20	12,47	12,309
3	$V = 0,675 + 0,000067 * dap^2 * H$	7504,41	91,29	0,62	2,061
4	$V = 36,737 - 2037,5 * 1/DAP$	1884,66	72,47	1,23	4,018
5	$V = -40,48 + 1117 * 1/DAP + 0,4459 * DAP$	2437,81	87,17	0,88	2,917
6	$V = -381,6 + 177,17 * \log DAP + 4284 * 1/DAP$	2328,68	86,69	0,90	3,166
7	$V = -112,41 + 28,337 * \log(DAP)^2 + 11,67 * \log H$	1708,10	82,69	0,92	2,996
8	$V = -114,57 + 24,542 * \log(DAP)^2 * H$	2745,10	79,31	1,10	3,516
9	$V = -19,060 + 0,28608 * DAP + 0,2999 * H$	2765,00	88,55	0,71	2,324

Onde: R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; Syx = erro padrão de estimativa; F = teste F; Cv = coeficiente de variação; P = probabilidade; DMP = desvio médio percentual

Na configuração dos parâmetros de parada da estrutura, foram testados inicialmente as variações do erro médio e depois testando esta configuração com variações o número de ciclo, percebendo claramente que após 3000 ciclos a convergência do erro não apresenta grandes alterações nos valores médios, considerando as 20 redes testadas por processamento. Como é visualizado na figura 2 onde é mostrado os valores da Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME), da Variância, da Soma dos Quadrados dos Resíduos e da Correlação e após a verificação da proximidade nos processamentos com 3000 e os testes das configurações determinados, podemos considerar os resultados das análise fatorial mostrados para os volumes, onde foram realizados demonstrando o comparativo dos processamentos, sendo facilmente percebido a estabilização quando se atinge 12 neurônios na camada oculta. Como critério de parada do algoritmo de treinamento utilizou-se o número total de ciclos igual a 3.000 ou erro quadrático médio inferior a 1%, conforme sugerido por Silva e Oliveira (2006). Portanto, finalizou-se o treinamento quando um dos critérios foi atingido e a melhor rede para estimar o volume foi selecionada. Para o treinamento das redes neurais artificiais utilizou-se o programa *NeuroForest Star* (BINOTI et al., 2013b).

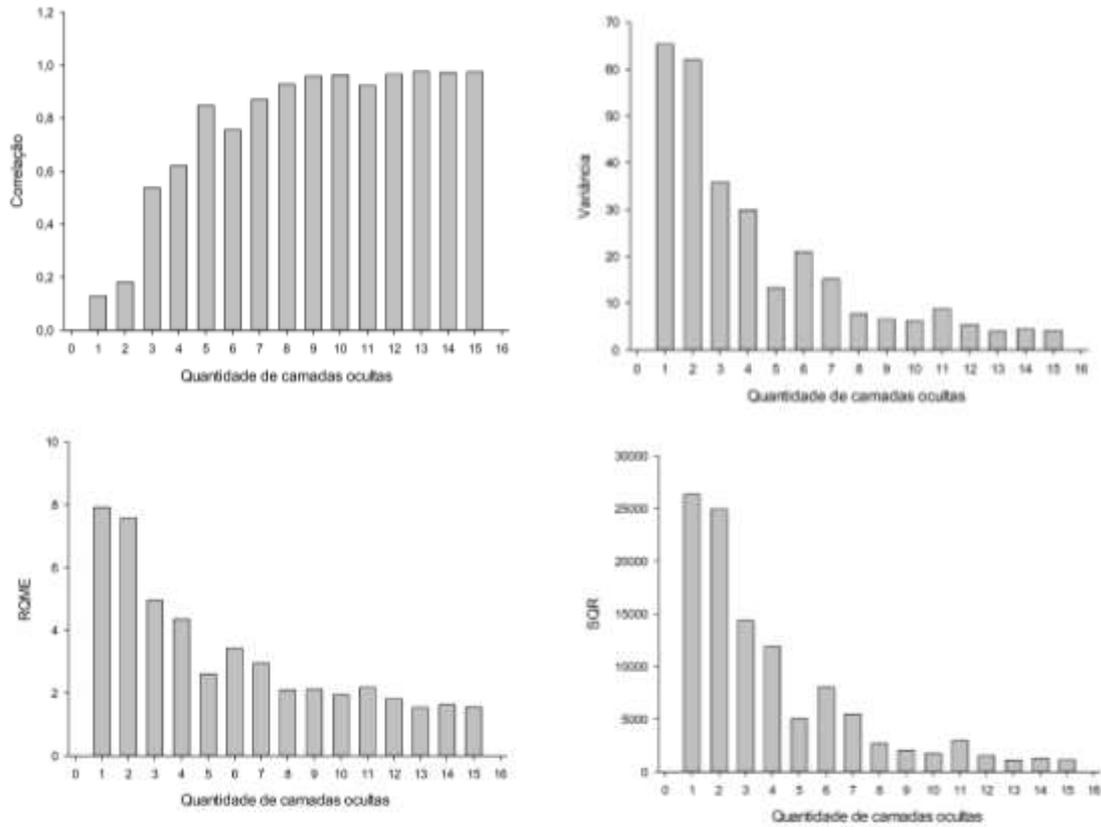


Figura 2: Estabilização do número de camadas ocultas de acordo com a correlação, variância, RQME e SQR.

A figura indica a frequência diamétrica absoluta e a determinada pelas redes e pelo modelo matemático. As redes neurais, além de proporcionar boas estimativas, não necessita da independência das variáveis predictoras, nem da utilização de métodos para trabalhar a correlação entre as variáveis envolvidas na solução do problema. Pelos ensaios realizados com RNA's, constatamos que a melhor estimativa do volume foi obtida utilizando uma RNA multicamada direta, com doze neurônios na camada intermediária.

Pelos ensaios realizados com RNA's, foi constatado que a melhor estimativa do volume foi obtida utilizando uma RNA multicamada direta, com quinze neurônios na camada intermediária. O erro médio absoluto obtido pela RNA 299 (melhor rede entre as testadas), foi de 0,0652, aproximadamente 65% menor quando comparado com o obtido pelo modelo de regressão de Spurr com erro médio absoluto de 0,1853. A RNA 299 ainda apresentou um erro padrão da estimativa (Syx) de 0,2553, valor 39% inferior ao encontrado pela regressão de Spurr (0,4304), comprovando com base nas estatísticas de ajuste a sua superioridade em estimar volumes de árvores individuais nesse estudo.

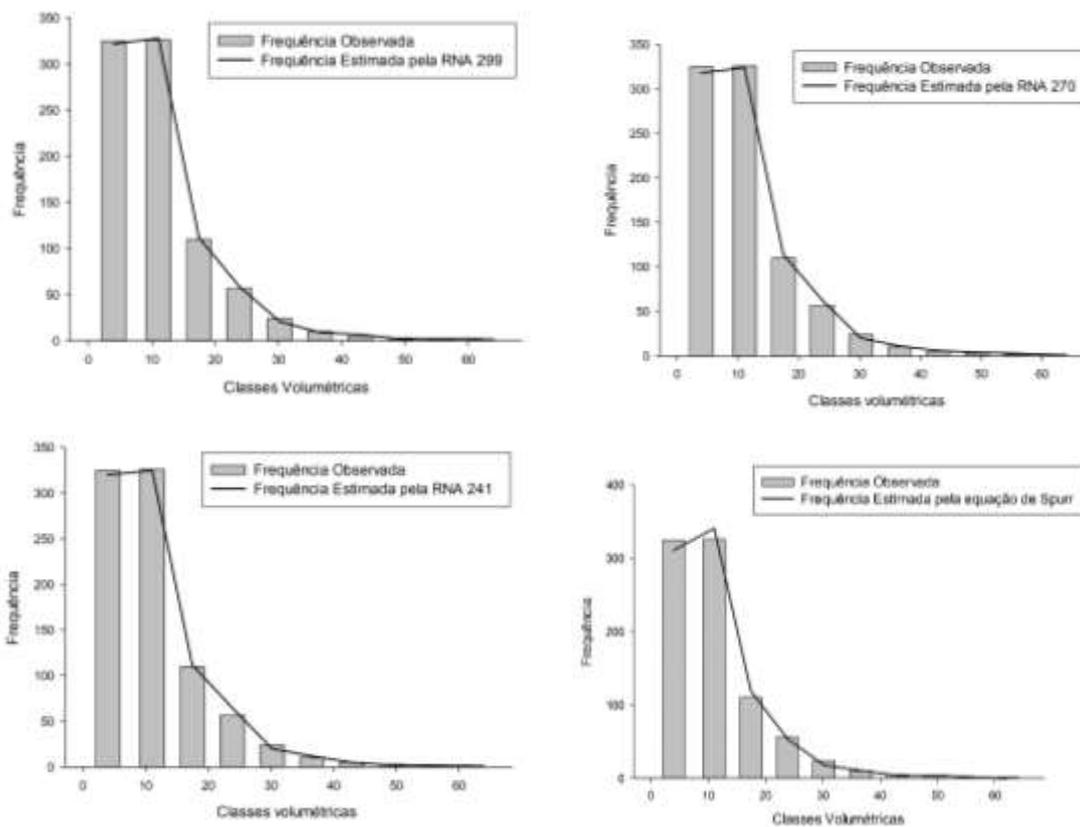


Figura 3 - Histograma da distribuição diamétrica de acordo com a frequência absoluta em relação aos centros de classes do DAP's para as redes 299,270,241 e modelo de Spurr

Os resíduos médios gerados pelas duas categorias de ajuste próximos de zero são desejáveis, pois demonstram a capacidade dos modelos em estimar as variáveis de interesse com acurácia. O valor residual médio para a RNA 241 foi de 0,1763 m<sup>3</sup>, para a RNA 270 o valor foi de 0,2110 m<sup>3</sup> e para a RNA 299 o valor foi de 0,1174 m<sup>3</sup> por árvore. Já a equação de Spurr obteve um resíduo de 0,2504 m<sup>3</sup> por árvore. Assim como no ajuste, a equação advinda de redes neurais apresentou-se mais eficaz na estimativa do volume, embora os resíduos do modelo matemático apresentem resíduos melhor distribuídos e de forma mais compacta, não apresentando nenhum ponto crítico de tendência no decorrer de toda a linha de regressão. Por vez, a equação de regressão melhorou sua distribuição residual quando comparada com os resíduos do ajuste, no entanto, resultados estatísticos inferiores a RNA se mantêm. A avaliação da distribuição é importante para que o processo de estimação mantenha a mesma distribuição dos dados observados, evitando-se, assim, distorções e alterações no comportamento da variável original.

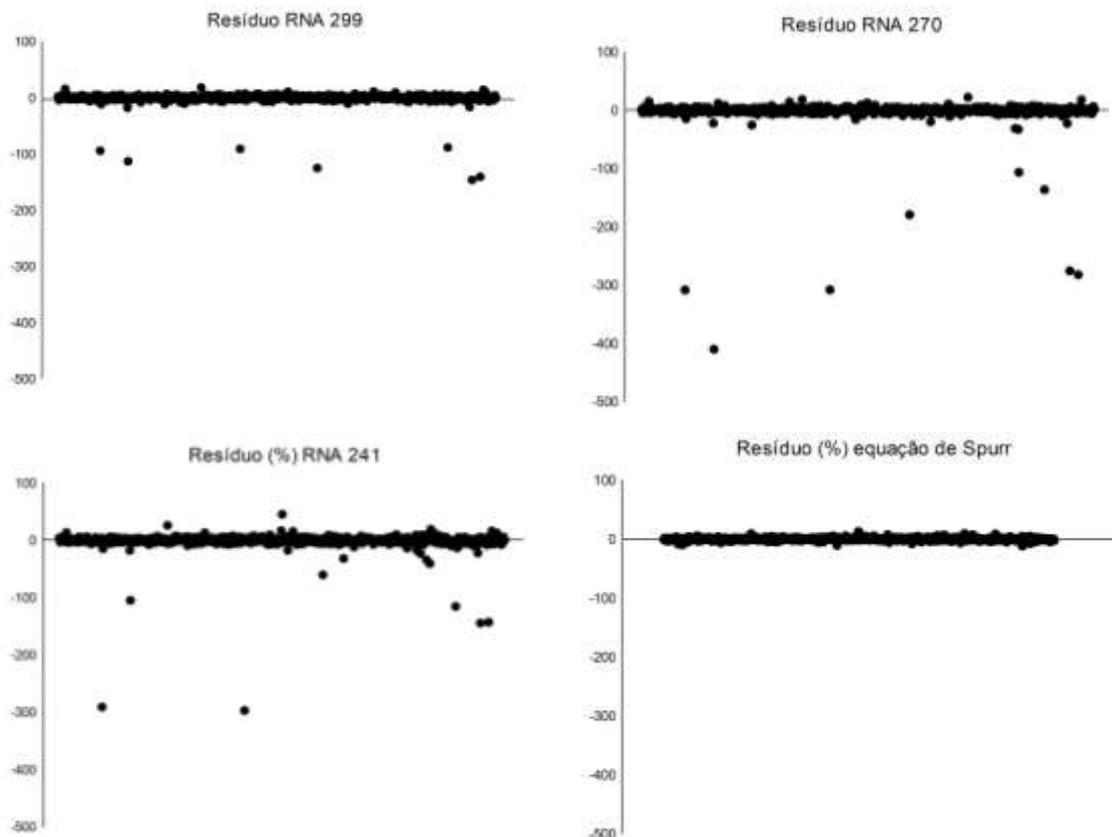


Figura 4: Análise gráfica de resíduos da modelagem volumétrica determinada pelas redes neurais e pela equação de Spurr.

O delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 5 tratamentos (tabela 5) e onde as 864 árvores cubadas foram consideradas as repetições. As hipóteses testadas foram:  $H_0$ : não existe diferença significativa entre os métodos de estimativa,  $H_1$ : existe diferença significativa entre os métodos testados.

Tabela 5: Tratamentos testados para análise volumétrica.

Tratamento	Método de estimativa
1	Volume Cubado
2	Volume RNA 241
3	Volume RNA 270
4	Volume RNA 299
5	Equação Spurr

Na análise estatística foi feita uma análise de variância (ANOVA) para os 5 tratamentos e 864 repetições (Tabela 6).

Tabela 6: Análise de variância para os tratamentos avaliados.

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	18,768	4	4,6919	0,0738 <sup>ns</sup>	0,9901	2,374
Dentro dos grupos	274483	4315	63,611			
<b>Total</b>	<b>274502</b>	<b>4319</b>				

Em que: *SQ*= soma dos quadrados; *gl* = graus de liberdade, *MQ* = quadrado médio; ns = não significativo a 5% de probabilidade.

Após a análise de variância pôde-se constatar que não existe diferença significativa entre os métodos de estimativa testados, sendo eles estatisticamente semelhantes, não sendo necessário um teste de comparação de médias (Teste Tukey), assumindo-se a hipótese nula.

As redes 241, 270 e 299 foram estatisticamente semelhantes aos dados observados diante do teste t a 5% de probabilidade. Todas as redes foram construídas com diferentes camadas intermediárias. A rede 241 apresenta uma camada intermediária com treze neurônios cada e função de ativação sigmóide. A rede 270 apresenta camada intermediária com quatorze neurônios também com função de ativação sigmóide, e a rede 299 apresenta camada intermediária com quinze neurônios e função de ativação sigmóide.

Todas as redes selecionadas apresentaram distribuição volumétrica estimada muito próximas da observada entre as 864 árvores cubadas usadas para treinamento e validação das redes neurais artificiais. A distribuição volumétrica para a equação de Spurr apresentou uma subestimação para a primeira classe volumétrica (até 7,87m<sup>3</sup>) e superestimação na segunda classe (até 14,25 m<sup>3</sup>) e terceira classe (até 20,62 m<sup>3</sup>).

A avaliação da distribuição é importante para que o processo de estimação mantenha a mesma distribuição dos dados observados, evitando-se, assim, distorções e alterações no comportamento da variável original.

Tabela 7: Determinação dos erros para cálculo do volume.

Volume (m <sup>3</sup> )	RNA 241	RNA 270	RNA 299	Spurr
Média	11,7342	11,8494	11,7331	11,6690
EM	0,1722	0,1298	0,0652	0,1853
EMR%	1,4760	1,1120	0,5586	1,5877
Syx %	0,4150	0,3602	0,2553	0,4304

Em que: EM = erro médio absoluto; EMR = erro médio relativo; Syx = erro padrão da estimativa.

O método proposto, além de proporcionar boas estimativas, não necessita da independência das variáveis preditoras, nem da utilização de métodos para trabalhar a correlação entre as variáveis envolvidas na solução do problema. Pelos ensaios realizados com RNA's, constatamos que a melhor estimativa do volume foi obtida utilizando uma RNA multicamada direta, com três neurônios na camada intermediária. O erro médio absoluto obtido pela RNA ( $EM=0,0178$ ), foi aproximadamente 50% menor quando comparado com o obtido pelo modelo de regressão quadrática ( $EM=0,0308$ ), e o erro padrão da estimativa foi cerca de 30% menor do que os obtidos pelos modelos de regressão linear e quadrática, o que configura um excelente resultado em termos de avaliação de volumes de árvores florestais.

Foi utilizada a equação de Spurr para todas as espécies por ser a que melhor se ajustou aos dados observados. Esta foi utilizada para estimar o volume de árvores individuais, sendo o conjunto dessas estimativas foi submetido à mesma análise da modelagem por redes neurais.

Resultado também encontrado por Amorim (2018) ao testar o potencial de redes neurais artificiais e regressão na estimativa de volume de madeira em povoamentos homogêneos de *Anadantera macrocarpa*, *Genipa americana* e *Mimosa caesalpinifolia* onde métodos de regressão e de redes neurais artificiais apresentaram aplicabilidade para a estimativa do volume individual dos povoamentos homogêneos em diferentes espaçamentos e aos sete anos de idade. O modelo de regressão de Spurr obteve melhores resultados estatísticos e dispersão dos erros não tendenciosos para as espécies *Anadantera macrocarpa* e *Genipa americana*.

Diferentemente da tradicional, a modelagem por redes neurais permitiu que todas as espécies fossem modelados por apenas uma rede. As diferentes redes ajustadas foram identificadas de forma numérica, de acordo com a sequência de trabalho, não significando classificação ou preferência. Nas redes que apresentaram estimativas semelhantes aos dados observados, uma análise mais profunda foi conduzida para avaliar o comportamento dos dados estimados. Utilizaram-se para tanto gráfico de distribuição dos volumes estimados diante da distribuição real dos dados (Figura 5). As redes 299,270 e 241 apresentaram subestimação dos volumes para classes pequenas.

A análise gráfica e estatística utilizada mostrou que todos os modelos apresentaram resultados sem tendenciosidade e livre de bias. As técnicas de inteligência artificial apresentaram coeficientes de correlação superior ao modelo de Spurr, contudo tal diferença não se apresenta significativa para os dados em questão. Deve-se considerar o fato de utilização dessas técnicas para problemas maiores e mais complexos, onde essa diferença pode ser

significativa. Considerando as técnicas de inteligência artificial, uma das principais diferenças entre o RNA e modelos matemáticos tradicionais refere-se às gerações de soluções a partir de uma mesma base de dados.

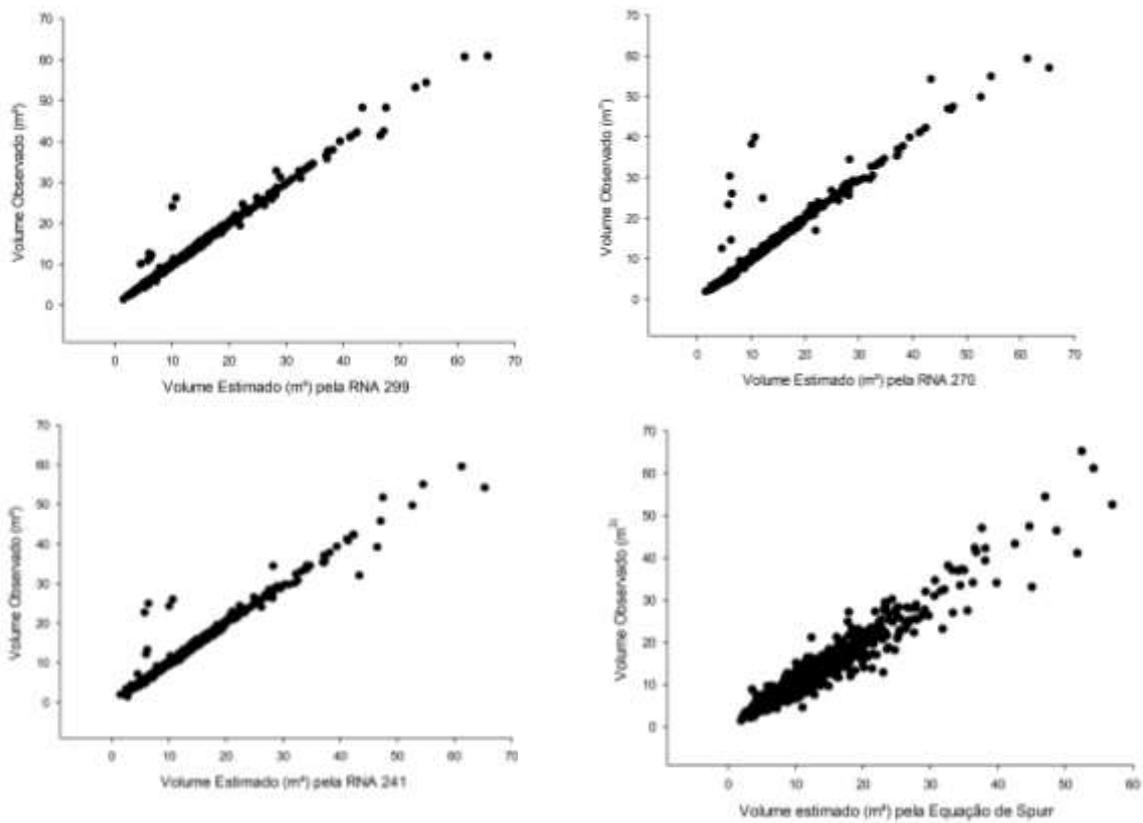


Figura 5: Modelagem volumétrica determinada pelas redes neurais e pela equação de Spurr.

O teste qui-quadrado demonstrou que os procedimentos de regressão e RNA<sup>s</sup> associados ao número de árvores por parcela e abertura de dossel são precisos nas estimativas de volume. Também, ambos os procedimentos de ajuste não diferiram entre si. Nestes resultados, a estatística do qui-quadrado de Pearson foi de 0.882 para RNA 233, 0.927 para RNA 241, 0.904 para RNA 270, 0.994 para RNA 299 e de 0.857 para modelo de Spurr e o valor-p = 0,7111. Portanto, em um nível de significância de 0.05, é possível concluir que a associação entre as variáveis é estatisticamente significativa.

#### **4. CONCLUSÕES**

Embora ambas as técnicas sejam consistentes notou-se que o desempenho das RNAs na predição volumétrica apresentou os critérios estatísticos analisados superiores aos advindos da equação de regressão.

O desempenho das redes neurais artificiais foi superior ao método de regressão, pois apresentou boa adequação aos dados de entrada. A utilização do número de árvores por parcela e abertura de dossel, independente da técnica utilizada (regressão ou RNA), reduz os custos dos inventários florestais, pois são de fácil obtenção. Por fim, amparado nos resultados obtidos recomenda-se a utilização da técnica de RNA, associada as variáveis número de árvores por parcela e abertura de dossel para estimativa de volume por unidade de área.

As redes neurais artificiais multicamada direta, podem ser uma excelente alternativa para a estimação do volume comercial de espécies florestais e, podem contribuir sobremaneira para a eficácia da solução desse importante problema.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL NETO, P., A. N. **Manual Florestal Comunitário na Amazônia Brasileira: Situação Atual, Desafios e Perspectivas**. Brasília: Instituto Internacional de Educação do Brasil – IIEB, 2002.
- AMORIM, L. M. **Potencial de Redes Neurais Artificiais e Regressão na Estimativa de volume de Espécies Nativas**. Dissertação. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. Bacharelado em, Engenharia Florestal. 26p.
- BARBOSA, T. R. L.. SILVA, M. P. S.. BARROSO. D. G. **Plantio do sabiazeiro (Mimosa caesalpinifolia) em pequenas e médias propriedades**. Programa Rio Rural, Niterói, Manual Técnico nº 2, ISSN 1983-5671, 2008.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. **Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos**. Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.8, n.1, p.125-129, 2013b.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; SILVA, A. **Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos utilizando redes neurais artificiais**. Agrária, v.8, p.125-129, 2012a.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; SILVA, A.; SANTOS, A. C. A. **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, M. L. M. S. **Emprego de redes neurais artificiais em mensuração e manejo florestal**. 2012. 130f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- 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, ViçosaMG, v.37, n.4, p.639-645, 2013.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2013. 605p.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1, 1039p.
- DIAMANTOPOULOU, M. J. **Artificial neural networks as an alternative tool in pine bark volume estimation**. Computers and Electronics in Agriculture. v.48, n.3, p.235-244, 2005

DRAPER, Norman Richard; SMITH, Harry. **Applied regression analysis**. 3rd ed. New York: John Wiley & Son, 1998. xvii, 706 p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, 1992. 269p.

GARBER, S. M.; MAGUIRE, D. A. **Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures**. *Forest Ecology and Management*, v.179, n.1, p.507-522, 2003.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. USP/ESALQ, Piracicaba. 1990. 468p.

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, 2010.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest Inventory Reinbek: Federal Research Organization for Forestry and Forest Products**, Forest Inventory Section, 1973. 469p. v. 2.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

MACHADO, S. A. et al. **Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o pinheiro do Paraná, na região sul do Brasil**. *Curitiba. Cerne, Lavras*, v. 6, n. 2, p. 55-66, 2000.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. **Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa***. *Ciências Exatas e Naturais, Curitiba*, v. 4, n. 2, p. 185- 196, 2002.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. 1. ed. São Paulo: D&Z Computação Gráfica e Editora. 2004. 413p.

MELLO, J. M de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal (Tese de Doutorado)**. Piracicaba: Doutorado em Recursos florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.2004.

RADAM. 1974. **Levantamento de recursos naturais. Ministério das Minas e energia**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral.

RIEDMILLER, M.; BRAUN, H. A. **Direct adaptive method for faster back propagation learning: the rporp algorithm**. *IEEE International Conference on Neural Networks*, v.1, p.586-591, 1993.

RIBASKI J, Lima PCF, Oliveira VR, Drumond MA. **Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) árvore de múltiplo uso no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas; 2003. 4 p. (Comunicado Técnico; no. 104).

SANTANA, O. A.; ENCINAS, J. I. **Equações volumétricas para uma plantação de Eucalyptus urophylla destinada a produção de lenha.** In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3. Anais... Santa Maria: UFSM/PPGEF, 2004. p. 107-111.

SILVA, E.; OLIVEIRA, A. C. **Dicas para Configuração de Redes Neurais.** Disponível em: .Acesso 08 mar. 2015.

SILVA, et al. **Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto.** Revista Árvore, v.33, n.6. p.1133-1139, 2009.

VIEIRA, E. L.; CARVALHO, F. F. R.; BATISTA, A. M. V.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SILVA, M. J.; SILVA, E. M. B. **Composição química de forrageiras e seletividade de bovinos em bosque de sabiá (Mimosa caesalpiniaefolia Benth.) nos períodos chuvoso e seco.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 34, n. 5, p. 1505-1511, 2005.