

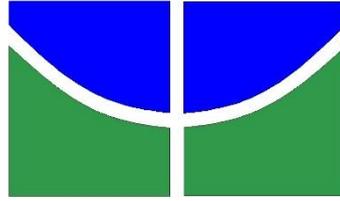
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE CUBAGEM
RIGOROSA COM DIFERENTES MÉTODOS DE AJUSTE

BEATRIZ GARCIA NASCIMENTO

BRASÍLIA

(2014)



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS DE CUBAGEM
COM DIFERENTES MÉTODOS DE AJUSTAMENTO

BEATRIZ GARCIA NASCIMENTO

Orientador: Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar

Co Orientador: Eng. Florestal Milton Serpa de Meira Junior

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

BRASÍLIA

(2014)

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Comparação entre metodologias de cubagem com diferentes métodos de
ajustamento**

Estudante: Beatriz Garcia Nascimento, matrícula 09/90370

Orientador: Prof. Ricardo de Oliveira Gaspar

Menção: SS

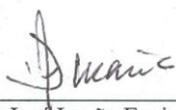
Aprovada por:



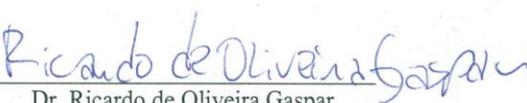
Presidente da Banca
Milton Serpa de Meira Junior
Engenheiro Florestal – UFVJM



Dr. Mauro Eloi Nappo
Engenheiro Florestal
DEF/UnB
Membro da banca



Dr. José Imaña Encinas
Engenheiro Florestal
DEF/UnB
Membro da banca



Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar
Engenheiro Florestal
DEF/UnB

Brasília, 09 de dezembro de 2014

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, que tanto me motivaram e se esforçaram para que eu conseguisse chegar até aqui. Dedico também a minha nova família, Gregory e Victor Hugo, que os frutos desse sonho se realizem entre nós.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade.

Ao Geraldo e Glória, meus pais, por acreditarem em mim e por sempre resgatarem as minhas forças.

Ao Victor Hugo, que me outorgou o diploma de mãe, e me transformou enquanto profissional e mulher.

Ao Gregory por há seis anos, amor e dedicação.

Aos meus irmãos: Emmanuel e Anna Paula, pelo amor e compreensão.

À família Xavier Cunha, que acolheu a mim e aos meus projetos.

Ao Mestre Milton e Dr. Ricardo por aceitarem a proposta de orientação, e terem confiado que faríamos um ótimo trabalho.

Aos doutores, Renato, Hélio, Eraldo, Mauro e outros que conheci através da UnB, gratidão. Cada um que passou, deixou a sua contribuição valiosíssima.

Aos amigos que conquistei ao longo da trajetória, Natanna, Ramildo e Mirella e muitos outros, levo-os no coração.

E a todos, que seja por meio de oração, palavras e gestos contribuíram para a realização desse sonho.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 – CUBAGEM	2
2.1.1 Cubagem Analítica	3
2.1.2 Cubagem Gráfica	4
2.2 – TIPOS DE AJUSTE	4
3 – METODOLOGIA	6
3.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	6
3.2 – CUBAGEM RIGOROSA	7
3.3 – AJUSTE DOS MODELOS	8
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4.1 – AJUSTE DAS EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS	10
4.2 – AJUSTE POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	12
4.3 – VALIDAÇÃO	16
4.4 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VOLUMES	19
6 – CONCLUSÃO	20
7 – BIBLIOGRAFIA	20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização da área do plantio - Fazenda Água Limpa, UnB. Fonte: Google Earth.....	6
Figura 2 Ilustração dos métodos de cubagem Smalian para a metodologia C. Em que: Di: Diâmetro inicial da seção em centímetros; Df: Diâmetro final da seção em centímetros; L: comprimento da seção em metros.	8
Figura 3. RNA utilizada para o cálculo do volume para a metodologia de referência.....	9
Figura 4. RNA para estimativa do volume para a metodologia de Campos e Leite (2013).....	9
Figura 5. Esquema ilustrativo de RNA para estimativa do volume para a metodologia proposta por MEIRA-JUNIOR et al(2014).	10
Figura 6. Gráficos de volume observado em função da dispersão dos resíduos obtidos pela regressão de Schumacher & Hal (1993) para as três metodologias de cubagem.	11
Figura 7. Gráficos de resíduos das redes treinadas para escolha da melhor rede para a Metodologia A, em que $R\%1=R\%2=R\%3=R\%4=R\%5=$ Erro em porcentagem da RNA.	13
Figura 8. Gráfico de resíduos para a Metodologia B, em que $R\%1=R\%2=R\%3=R\%4=R\%5=$ Erro em porcentagem da RNA.	15
Figura 9. Gráfico de dispersão de Resíduos para Metodologia C, em que $R\%1=R\%2=R\%3=R\%4=R\%5=$ Erro em porcentagem da RNA.	16
Figura 10. Gráfico de distribuição de resíduos da Redes Neurais Artificiais obtida para Metodologia A.	17
Figura 11. Gráfico de distribuição de resíduos para a Metodologia B.	18
Figura 12. Gráfico de dispersão de resíduos a metodologia de seções variáveis.	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 A tabela abaixo apresenta a distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados	8
Tabela 2. Parâmetros e estatísticas para cada metodologia de cubagem, em que β = parâmetros; R^2 = Coeficiente de regressão; R^2 ajust = Coeficiente de regressão ajustado; S_{xy} = Erro.	10
Tabela 3. Valores de Erro Quadrático Médio para as RNA da Metodologia A, em que EQM = Erro Quadrado Médio; %RES = Média entre os valores de resíduo em porcentagem.....	13
Tabela 4. Valores de Erro Quadrático Médio para as RNA da Metodologia B, em que EQM = Erro Quadrado Médio; %RES = Média entre os valores de resíduo em porcentagem.....	15
Tabela 5. Valores de Erro Quadrático Médio para as RNA da Metodologia B, em que EQM = Erro Quadrado Médio; %RES = Média entre os valores de resíduo em porcentagem.....	16
Tabela 6. P-valor do Teste t pareado. Em que A = Metodologia A; B= Metodologia B; C= Metodologia C; RNA = Redes Neurais Artificiais; Vol = volume em m^3	19

RESUMO

A busca por melhor qualidade dos dados oriundos de florestas plantadas é recorrente no âmbito de trabalho dos gestores e pesquisadores do setor florestal. A cubagem rigorosa consiste em várias metodologias para obter os dados quantitativos do volume com medidas sucessivas do diâmetro longo do fuste. Contudo, as metodologias usuais de cubagem tendem a superestimar o volume na base da árvore. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar três metodologias de cubagem: testemunha, denominada Metodologia A, medindo-se os diâmetros da base (0,1 m) e as demais seções a 0,25 m até a sua altura comercial; a segunda metodologia (Metodologia B) utilizada foi proposta por (CAMPOS & LEITE, 2013) e por fim, a terceira (Metodologia C) que captou o diâmetro a partir da variação de 1 cm no comprimento do fuste. Os ajustes foram feitos usando regressão e Redes Neurais Artificiais. Para determinação do volume, foi utilizando o método de Smalian e para volume total Schumacher & Hall(1993). Para ambos os ajustes, sorteou-se 40 indivíduos para treino e com os 21 indivíduos restantes aplicou-se a validação. Os ajustes de regressão foram feitos usando o *software* EXCEL (MS) Versão 2007, e para as Redes Neurais Artificiais usou-se STATISTICA 7.0, Intelligent Problem Solver (IPS). Para comparação entre os ajustes usou-se a análise gráfica da distribuição dos resíduos, erro quadrado médio, coeficiente de correlação múltipla (R^2) e por fim, o teste *t* para amostradas dependentes, este último foi feito utilizando-se o *software* R Studio. A partir dos resultados das análises em relação ao ajuste por regressão, a terceira metodologia, obteve melhores resultados para ser aplicado de forma prática em situações reais. Para os ajustes feitos por RNA, obtiveram-se igualmente resultados satisfatórios para as três metodologias testadas. Portanto, recomenda-se que ao se ajustar com regressão, utilizar a terceira metodologia. Ainda, se for aplicado Redes Neurais Artificiais, qualquer metodologia estudada apresentará bons resultados.

Palavras-chave: eucalipto, smalian, redes neurais artificiais

ABSTRACT

The search for better data quality from planted forests is recurrent in the scope of work of managers and researchers in the forestry sector.. The cubed consists of several methodologies for the volume of quantitative data with successive measurements along the stem diameter. However, the usual methods of scaling tend to overestimate the volume at base of tree. Therefore, the objective of this study is to evaluate three methods of scaling: control by measuring the basal diameters (0.1 m) and the other sections 0.25 m to its commercial height, the second was proposed by (CAMPOS & LEITE, 2013) and finally, the third that captured the diameter from the range of 1 cm in stem length. Adjustments were made using regression and artificial neural networks. For determining the volume was using the method Smalian and total Schumacher & Hall (1993). For both settings, it has drawn-40 individuals for training and the remaining 21 individuals validation applied. The regression adjustments were made using the EXCEL software (MS) Version 2007 and the Artificial Neural Networks used to STATISTICA 7.0, Intelligent Problem Solver (IPS). For comparison between the settings used to the graphical analysis of the distribution of residuals, mean square error, multiple correlation coefficient (R^2) and finally, the t test for dependent sampled, the latter was done using the R Studio software. From the results of the analysis in relation to the adjustment for regression, third method achieved better results to be applied in a practical way in real situations. For RNA adjustments afforded equally satisfactory results for all the tested methodologies. Therefore, it is recommended that the fit regression, using third methodology C. However, if applied artificial neural networks, any study methodology will present good results.

Key words: eucalyptus, smalian artificial neural networks

1 - INTRODUÇÃO

A influência do setor florestal na economia brasileira justifica o conhecimento adequado do estoque florestal para que um planejamento de curto, médio e longo prazo possa ser realizado (CABACINHA, 2003). Sendo que o Brasil possui grande parte do seu território composto por formações florestais naturais que cobrem cerca de quinhentos milhões de hectares (ABRAF, 2013). Métodos de obtenção do volume de madeira tem sido a principal análise do potencial produtivo das florestas (THOMAS et al., 2006), que por sua vez é utilizado como ferramenta na tomada de decisão.

A busca por melhor qualidade dos dados para que as estimativas sejam precisas, advindas de florestas seja plantada ou nativa, é recorrente no âmbito de trabalho dos gestores e pesquisadores do setor florestal (BINOTI, 2014). O uso de ferramentas de dados e estatísticas tem intuito de auxiliar o planejamento e execução dos planos de manejo. As quais quando associado aos dados confiáveis e representativos sobre a volumetria de madeira, podem gerar estimativas de volumes confiáveis e que possam ser usadas em Planejamentos Operacionais e Estratégicos dos empreendimentos florestais.

Atuando como uma ferramenta essencial na estimativa de volume, a cubagem rigorosa consiste em obter os dados quantitativos do volume com medidas sucessivas do diâmetro longo do fuste. O volume calculado pode ser usado em nível de povoamento, e também aferido de forma individual. Tais análises trazem as respostas aos questionamentos dos gestores, pesquisadores e estudantes acerca do estoque de madeira com potencial econômico aproveitável que existe no empreendimento a ser considerado (THOMAS et al., 2006).

Analisando erros percentuais para o volume, as metodologias usuais de cubagem tendem a superestimar o volume na base da árvore (YOUNG et al., 1967; PATTERSON et al., 1993; WIANT JUNIOR et al., 1992). Sendo que, na base da árvore é onde são encontrados os maiores volumes, aumento assim os erros percentuais na estimativa do volume da árvore. Para minimizar este problema alguns autores propuseram diferentes comprimentos de secções, onde na região da base são mensuradas mais secções e estas diminuem ao longo do fuste (SCOLFORO, et al., 1994; SCOLFORO; FIGUEIREDO FILHO, 1998; CAMPOS & LEITE, 2013). Mesmo assim, a superestimação do volume na base da árvore foi identificada devido à alta variação do volume nesta porção da árvore (MACHADO et al., 2006). Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar uma metodologia de cubagem utilizando como forma de ajuste regressão e Redes Neurais Artificiais.

Sendo as hipóteses: 1) a metodologia de cubagem a ser proposta deve apresentar melhoria na estimativa do volume; 2) O uso das Redes Neurais Artificiais é mais eficiente do que o método tradicional de ajuste por meio de regressão linear e não linear.

Assim os objetivos principais deste estudo são comparar e avaliar nova metodologia de coleta de dados de cubagem avaliando diferentes intervalos de medição. E por sua vez, testar a nova metodologia de ajustamento de dados de cubagem, por Redes Neurais Artificiais em alternativa a tradicional análise de regressão, comparando-as por meio de teste de médias para amostras dependentes.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – CUBAGEM

A cubagem, essencialmente, objetiva obter variáveis que possibilitem quantificar o volume das árvores. Nesse sentido pode ser feita a partir da medição de diâmetros sucessivos ao longo do fuste da árvore com comprimentos pré-definidos (GOMES, 1957; SILVA & NETO, 1979; CAMPOS; LEITE, 2013) ou a partir da imersão dos toretes em tanques de água e captar a variação do volume do líquido (método do xilômetro). A metodologia proposta por (CAMPOS; LEITE, 2013), é a mais recorrente em trabalhos acadêmicos. Este método consiste em aferir o diâmetro na base ((0,10 m), e nas alturas de 0,50 m, 1 m, no Diâmetro a Altura do Peito – DAP (1,30 m), 2 m, e repetir a medição, mas a cada 2 m até um diâmetro mínimo comercial (em torno de 4 cm).

As metodologias de cubagem para estimativa de volume podem ser feitas com a árvore abatida ou em pé, considerando os comprimentos de seções fixos ou comprimentos de seções variáveis. Destaca-se a importância desses métodos, no âmbito do Planejamento Florestal das empresas, pois através dele obtém-se cálculos que determinam estoque de madeira que existem a campo. A derrubada da árvore, e a coleta dos dados de diâmetro, altura, diâmetro de copa, consistem em variáveis que podem ser verdadeiras aliadas e ferramentas contundentes nas tomadas de decisão inerentes ao processo produtivo, por parte dos gestores (BINOTI, 2014).

Os métodos de cubagem mais comumente utilizados são Smalian e Huber, principalmente, pela facilidade de uso das fórmulas (NICOLETTI, 2011). Alternativa, também válida para estimativas de volume é o uso de Redes Neurais Artificiais. Este por sua vez, também trabalha com altura e DAP e fornece estimativas confiáveis de volume (SILVA et al., 2009).

Previamente, para fins de cálculo de cubagem, é importante levar em consideração o formato geométrico que as seções da árvore se assemelham. É mais realista pensar, para fins

de cálculo, que cada fuste tem o formato geométrico de um sólido diferente, ou seja, cada seção cortada do fuste, terá o formato atribuído a um sólido diferente. Por exemplo, se o topo se assemelhar a um cilindro, a porção logo abaixo do topo indo até ao DAP se parece com um tronco de neiloide e a base pode ser considerada cilíndrica (HUSCH et al., 2003).

Por sua vez, esta pode ser dividida em cubagem analítica e cubagem gráfica (SILVA; NETO, 1979).

2.1.1 Cubagem Analítica

Segundo (GOMES, 1957), neste caso, a base pode ser representada por um cilindro e que o topo, se ajusta no formato de um cone e que as seções podem ter o formato atribuído às seções de um parabolóide.

Em relação aos tipos existentes de cubagem, destacam-se: Método do Xilômetro, em que as seções de comprimentos fixos e métodos que fazem os cálculos a partir de seções de tamanhos variáveis (SILVA; NETO, 1979).

-Método do Xilômetro: em todos os métodos e fórmulas existentes, este é o que apresenta resultados mais reais. Este método usa como ferramenta um tanque com graduações em Litros. Mais comumente são reforçados com aros, para evitar uma possível deformação. As toras de madeira são inseridas dentro do tubo, e este por sua vez, é contabilizado o volume a partir do volume de água deslocado (SILVA;NETO, 1979).

-Métodos com Seções de Comprimento Fixos:

SMALIAN

$$V = \frac{g_1 + g_2}{2} L \text{ (Eq.01)}$$

HUBBER

$$V = \frac{\pi D_{1/2}^2}{40.000} L \text{ (Eq.2)}$$

NEWTON

$$V = \left(\frac{1}{6}\right) L (g_1 + 4g_{\frac{1}{2}} + g_2) \text{ (Eq.3)}$$

Em que V= volume do tronco, em m³; gi = área seccional, dada por $gi = \frac{\pi D_i^2}{40.000}$, em m²; D₁ e D₂ = diâmetro nas extremidades 1 e 2 do tronco, em cm; D_{1/2} = diâmetro a 50% do

comprimento do tronco, em cm; e L = comprimento do tronco, em m (CAMPOS & LEITE, 2013).

- Métodos de Comprimentos Variáveis:

HOHENADL

$$V = \frac{h}{5} (g_{0,1} + g_{0,3} + g_{0,5} + g_{0,7} + g_{0,9}) \quad (\text{Eq.4})$$

MÉTODO DA FAO

$$V = 0,2 L \left[\frac{2d_1^2 + d_2^2 + d_3^2}{4} + d_{0,7}^2 + d_{0,5}^2 + d_{0,3}^2 + d_{0,1}^2 \right] \quad (\text{Eq.5})$$

Em que g= área transversal (m²) obtida a 10, 30, 50, 70 e 90 % da altura total h; L = comprimento do tronco, em m e d= diâmetro da seção a ser considerada (SILVA; NETO, 1979).

2.1.2 Cubagem Gráfica

Apesar de pouco usual, é importante destacar o método gráfico de obtenção de volume. É aquele em que o volume era obtido através do traçado do perfil longitudinal do tronco em um papel milimetrado, sendo um método muito mais flexível que o analítico, porque pode cubar qualquer tipo de árvore, ela tendo ou não características semelhantes com os protótipos dendrométricos (SILVA & NETO, 1979).

2.2 – TIPOS DE AJUSTE

O estudo de um fenômeno ganha precisão se for possível compreender as relações de dependência entre variáveis (GOMES, 1957), ou seja, um estudo se torna válido e torna possível a sua leitura e utilidade, a partir do momento em que estabelece ligações entre as variáveis dendrométricas coletadas.

A regressão e a correlação são análises comumente utilizadas para atribuir valor, a associação entre duas ou mais variáveis, expressando assim também a natureza dessa associação (HUSCH, 2003). O primeiro problema da regressão linear é descobrir uma expressão matemática e uma representação gráfica que se ajuste da melhor forma possível aos dados disponíveis. Para isso, por esse tipo de ajuste, propõe-se que a melhor forma existente para mostrar a relação entre as duas variáveis seja feita pela forma linear, demonstrado pela seguinte fórmula:

$$Y = a + bX \quad (\text{Eq.6})$$

Em que pode ser transformada na sua forma logaritmizada para tornar a equação linear e obter maior facilidade ao uso do *software* e também pode ser usada da seguinte forma:

$$Y = aX^b \rightarrow \log Y = \log a + b \log X \quad (\text{Eq.7})$$

Ainda (HUSCH, 2003), afirma que o melhor ajuste da linha ressalta os melhores valores para as constantes a e b , é capaz de tornar mínimo os desvios dos valores de Y observado, podendo-se concluir que trata-se do método da regressão de Método dos Mínimos Quadrados.

Sob outra ótica de observação dos dados, pode-se ressaltar o ajuste pelo Método da Máxima Verossimilhança. Este por sua vez, estabelece o ponto máximo da função de verossimilhança. Ao considerar uma variável de estudo x atribui-se a ela uma função densidade probabilidade (f.d.p.) $f_x(x; \theta)$, em que θ são um ou mais parâmetros que controlam o comportamento de x , tendo-se como objetivo ao final, buscar o que maximiza θ (PORTUGAL, 1995).

Outra modalidade de ajustamento são os modelos polinomiais, que são muito usuais para a caracterização de perfil de tronco (FISCHER et al., 2001). Segundo os mesmos autores, o seu uso está limitado à existência de softwares que tornem rápido o processamento dos dados provenientes do Inventário Florestal.

Outra forma para estimação do volume das árvores é a partir do emprego de Redes Neurais Artificiais (RNA). O uso deste método de ajuste também é reconhecido tanto pelo grau de exatidão como a economicidade envolvida no ajuste (CAMPOS; LEITE, 2013). Diversos trabalhos confirmaram as melhorias deste método para as estimativas das variáveis dendrométricas, tais como volume e altura (BINOTI et al., 2014a; BINOTI et al., 2014 b; BINOTI et al., 2014c; GORGENS et al., 2014; GORGENS et al., 2009; CASTRO et al., 2013; SOARES et al., 2012a; CABACINHA, 2012; SOARES et al., 2011b; SCHOENINGER, et al., 2007; HUANG et al., 2012), para estimativas de risco de incêndios florestais (SAFI & BOUROUMI, 2013) e também para estimativas de risco de incêndios associadas às geotecnologias (MAEDA et al., 2009; FERRAZ et al., 2014; RESENDE, 2012; TODT, 1998; ÖZBAYOĞLU, 2012).

Este método de ajuste permite-se usar variáveis qualitativas ou categóricas (clone, espaçamento, local entre outras) e também quantitativas ou contínuas (corte, idade, DAP, altura, etc.) no mesmo modelo (CAMPOS; LEITE, 2013). O método consiste basicamente em gerar algoritmos que estimem com precisão as variáveis que são objeto de estimação. Uma RNA é composta por neurônios artificiais geralmente dispostos em camadas e conectados entre si.

Uma rede neural é um processador maciço paralelamente distribuído, e por sua vez constituído de unidades de processamento simples, que têm propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso (HAYKIN, 2001). Ou seja, é uma máquina projetada para modelar a maneira como o cérebro realiza uma tarefa particular ou função de interesse.

Redes Neurais Artificiais são modelos computacionais inspirados no sistema nervoso de seres vivos. Possuem a capacidade de aquisição e manutenção do conhecimento (baseado em informações) e podem ser definidas como um conjunto de unidades de processamento, caracterizadas por neurônios artificiais, que são interligados por um grande número de interconexões (sinapses artificiais), sendo as mesmas representadas aqui por vetores/matrizes de pesos sinápticos (SILVA et al., 2010).

Assim as RNA tem a capacidade de, a partir de um conjunto de dados, acumular informações e generalizar para os dados não utilizados no treinamento (SILVA et al., 2010). A generalização se refere ao fato de a rede neural produzir saídas adequadas para entradas que não estavam presentes durante o treinamento (HAYKIN, 2001).

3 – METODOLOGIA

3.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo contemplou dois hectares de povoamento do eucalipto híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* clonal GG100 com cinco anos de idade, localizada na Fazenda Água Limpa - FAL/UnB, em Brasília, Distrito Federal. O ponto central do povoamento está nas coordenadas 15°58'02.46''S e 47°53'24.58''O (Figura 1). O solo predominante da região é o Latossolo Vermelho, o espaçamento utilizado para o plantio foi o de 3 m x 2 m, a temperatura média é de, aproximadamente, 21°C com precipitação média, de 1600 mm.ano⁻¹ (MUNHOZ e FELFILI, 2008).



Figura 1 Localização da área do plantio - Fazenda Água Limpa, UnB. Fonte: Google Earth

3.2 – CUBAGEM RIGOROSA

Os dados foram obtidos através do censo da área de estudo. Neste censo, mensurou-se DAP e a altura total (*HT*). Dos indivíduos amostrados, sorteou-se 61, distribuídos uniformemente em classes de diâmetro. Aplicou-se cubagem rigorosa, pelo método destrutivo. O intervalo das classes de diâmetro utilizadas neste trabalho foi de 2 cm numa amplitude de 12 a 22 cm. Para determinação do volume, na cubagem rigorosa, de cada seção das árvores foi utilizando o método de Smalian (CAMPOS; LEITE, 2013).

$$V = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) * Li \quad (\text{Eq.8})$$

Foram avaliadas três metodologias de cubagem. A Metodologia Testemunha, em que mediu-se os diâmetros na base (0,10 m) e as demais seções a cada 0,25 m até a altura comercial (diâmetro igual a 4 cm), incluindo o DAP. A segunda metodologia, proposta por Campos e Leite (2013), os diâmetros foram mensurados na base a 0,50 m; 1,00 m; DAP; 2,00m, e a partir dessa altura, a cada 2,00 m até a altura comercial. Na terceira metodologia, proposto por (MEIRA-JUNIOR et al, 2014), as medições de diâmetro foram captadas a partir da variação de 1 cm no comprimento do fuste. Sendo a primeira medida tomada na base e a última a altura comercial. Assim, nesta metodologia, a diferença entre os diâmetros das seções será constante e o comprimento será variável. Assim, onde as variações são mais intensas, como na base do fuste, temos maior número de medidas permitindo maior detalhamento do volume da árvore.

Na terceira metodologia, o primeiro diâmetro foi medido na base (0,10 m). O comprimento da seção foi definido a partir do diâmetro medido na base e do diâmetro medido quando se variava 1 cm no comprimento do fuste. Assim foi feito, semelhante às outras metodologias até 4 cm de DAP (Figura 3.2). O comprimento da seção (*L*) foi dependente da variação do fuste necessária para se atender a relação supracitada entre D_i e D_f . Deste modo, o comprimento *L* teve valor variável, dependente do formato do fuste dos indivíduos.

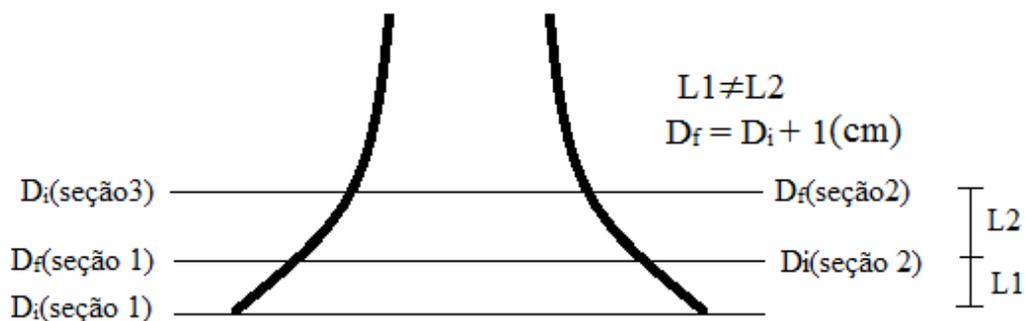


Figura 2 Ilustração dos métodos de cubagem Smalian para a metodologia C. Em que: D_i : Diâmetro inicial da seção em centímetros; D_f : Diâmetro final da seção em centímetros; L : comprimento da seção em metros.

3.3 – AJUSTE DOS MODELOS

Para o ajuste dos modelos foram sorteados quarenta indivíduos, respeitando a proporcionalidade em relação às classes de diâmetro (Tabela 3). Outras 21 árvores foram utilizadas para a validação das metodologias e dos métodos de ajuste. A partir dos dados de volume das três metodologias, foram ajustadas equações de volumes, utilizando o modelo linear de Schumacher-Hall (1933). Este modelo é apresentado como o melhor para ajuste de volume em florestas plantadas (PAULA NETO, 1977; SHIVER; BRISTER, 1992).

Tabela 1 A tabela abaixo apresenta a distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados

Centro de Classe	Nº de árvores
9	11
11	9
13	11
15	11
17	10
19	9

O primeiro método de ajustamento foi feito por regressão ao modelo linearizado usando o *software* EXCEL (MS) Versão 2007 pela equação:

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * \ln Ht \text{ (Eq.9)}$$

O segundo método de ajuste consistiu na estimação dos volumes por meio de Redes Neurais Artificiais (RNA). Os algoritmos foram processados usando o STATISTICA 7.0, Intelligent Problem Solver (IPS). No *software*, treinou-se 1000 redes, sendo que os tipos aplicados foram Linear, *Multilayer Perceptron* (MLP) ou *Radial Basis Function* (RBF). Os

tipos de regressões testadas pelo programa foram do tipo Linear e Logística. O critério de parada considerado foi o de menor erro de treino da rede retida seguindo este critério, foram retidas apenas 5 redes para cada tratamento. A partir das cinco RNA retidas, fez-se o gráfico de resíduos e Erro Quadrado Médio (EQM) para cada uma e procedeu-se a escolha da melhor rede para cada metodologia de cubagem e que deveria ser aplicada nos dados de validação.

Configurações da RNA usadas:

- Esquema ilustrativo da RNA utilizada na Metodologia A:

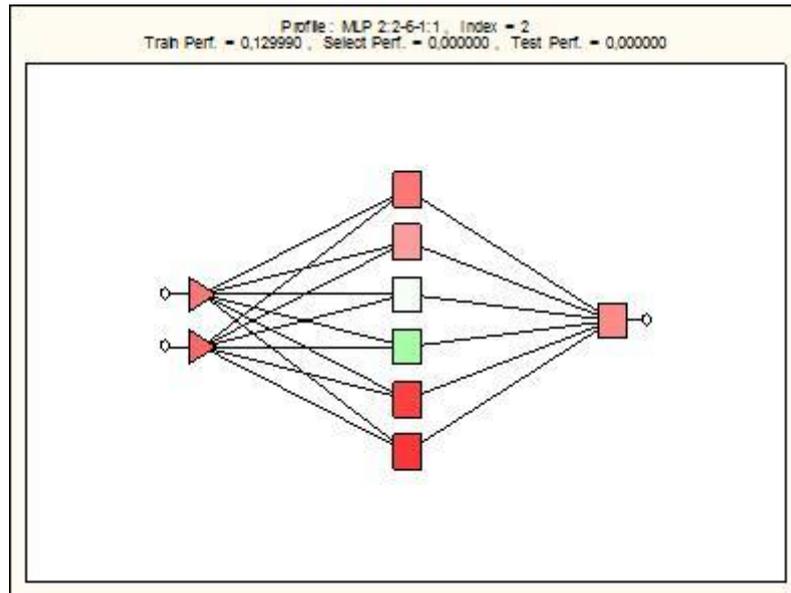


Figura 3. RNA utilizada para o cálculo do volume para a metodologia de referência.

- Esquema ilustrativo da RNA utilizado na Metodologia B:

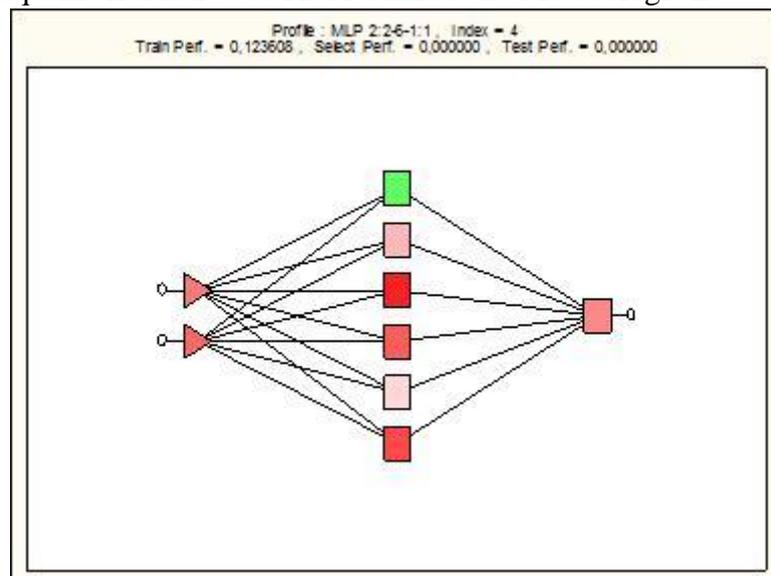


Figura 4. RNA para estimativa do volume para a metodologia de Campos e Leite (2013).

- Esquema ilustrativo da RNA utilizado na Metodologia C:

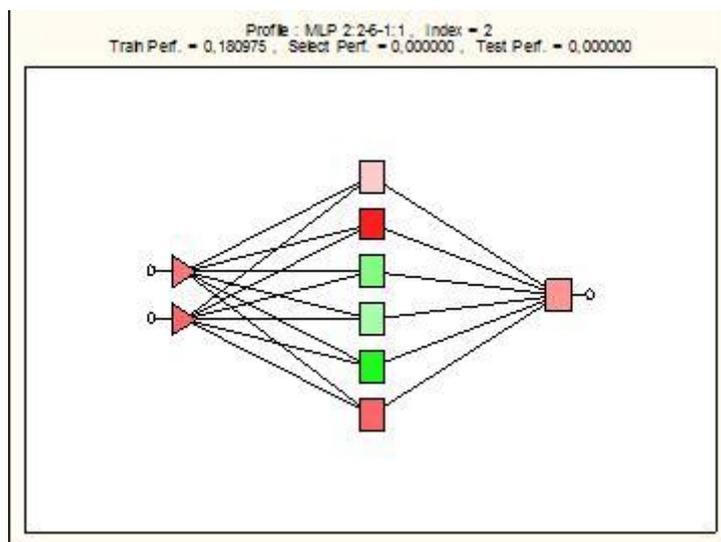


Figura 5. Esquema ilustrativo de RNA para estimativa do volume para a metodologia proposta por MEIRA-JUNIOR et al(2014).

Ao final, executaram-se as estatísticas que validam os métodos de ajuste aplicados neste trabalho. Entre elas estão o teste de Normalidade (Kolmogorov – Smirnov) e Homocedasticidade (COCHRAN C, HARTLEY, BARTLETT), que foram feitos usando o STATISTICA 7.0, para conferir a distribuição normal dos resíduos, análise da distribuição dos resíduos, erro quadrado médio, coeficiente de correlação múltipla (R^2) e por fim, o teste t para amostras dependentes utilizando-se o *software* R Studio.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – AJUSTE DAS EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS

O resultado da regressão para as três metodologias estão descritas na Tabela 4.1. Todos os ajustes apresentaram significância dos parâmetros, indicando que não há diferença entre os volumes estimados pela regressão e os volumes observados. Os valores de R^2 indicam a alta correlação entre DAP e altura na estimativa de volume. Também foram avaliados os gráficos de resíduo (Figura 4.5).

Tabela 2. Parâmetros e estatísticas para cada metodologia de cubagem, em que β = parâmetros; R^2 = Coeficiente de regressão; R^2 ajust = Coeficiente de regressão ajustado; S_{xy} = Erro.

Metodologia	β_0	β_1	β_2	R^2	R^2 ajust	S_{xy}
A	-10,046*	1,90807*	1,01157*	0,9799	0,9788	0,0946
B	-8,9119*	1,70527*	0,84973*	0,9765	0,97531	0,0924
C	-9,3259*	1,71671*	0,94428*	0,9786	0,97744	0,09551

*significativo 5%

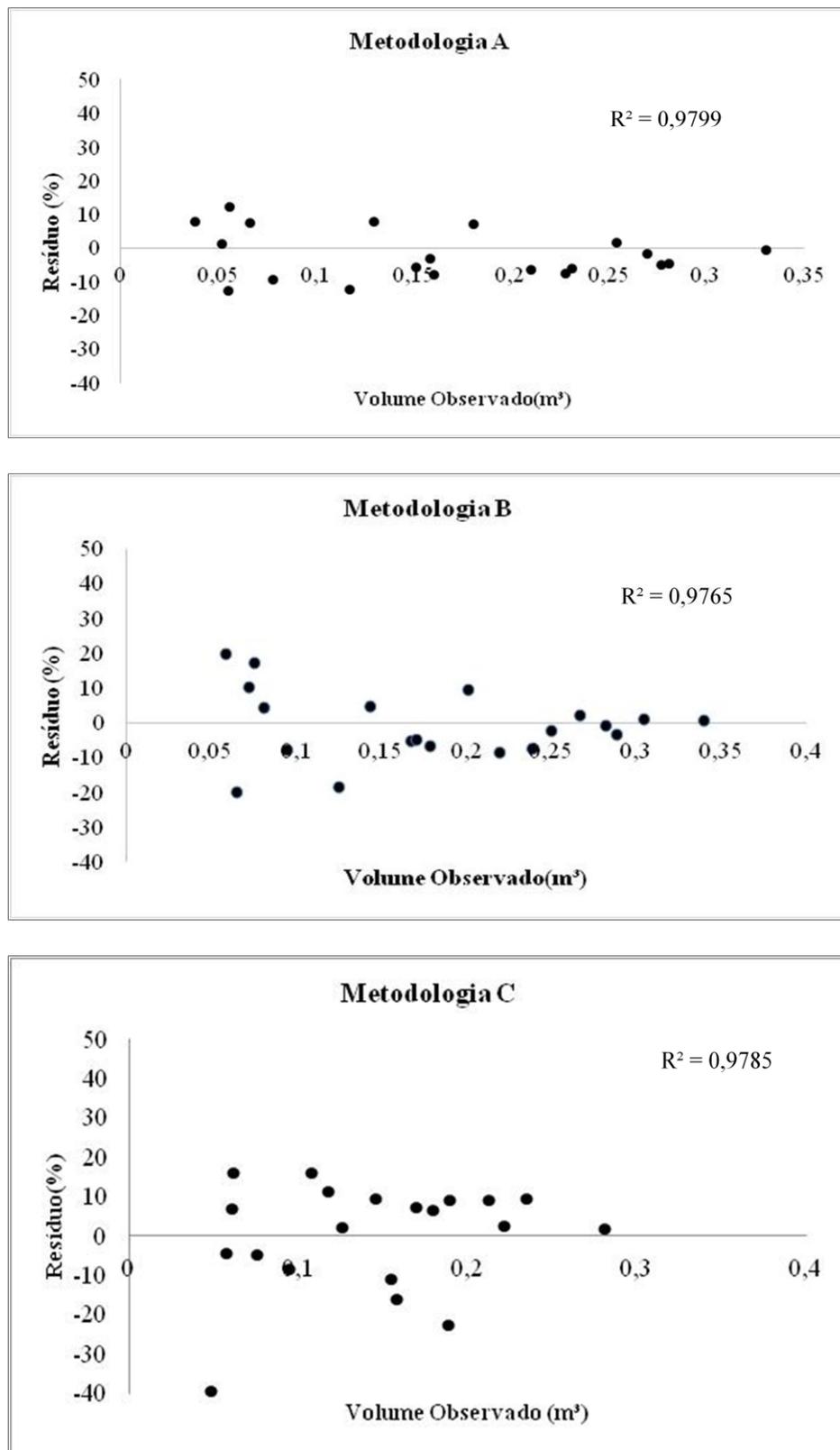


Figura 6. Gráficos de volume observado em função da dispersão dos resíduos obtidos pela regressão de Schumacher & Hal (1993) para as três metodologias de cubagem.

Nos dados validados para as três metodologias de cubagem apresentados (Figura 5), percebe-se que o modelo de regressão obteve melhores resultados quando aplicados à Metodologia A, onde a dispersão dos resíduos apresentou uma boa distribuição. Para a Metodologia C, considerada a metodologia proposta por este trabalho, houve certa tendenciosidade no sentido de subestimar volumes menores, pois os valores de volume para os indivíduos de menor DAP resultaram em volumes que estão abaixo da abscissa no gráfico, porém não desqualifica este método de ajuste para a metodologia apresentada.

Segundo Figueiredo-Filho (2006) a metodologia de cubagem mais comumente usada é a de seções fixas pela facilidade computacional (casos das Metodologias Testemunha e Campos e Leite (2013)), porém o autor ressalta que melhores resultados podem ser obtidos variando-se os comprimentos das seções seguindo de acordo com as mudanças na forma do fuste Metodologia Meira-Junior (2014).

4.2 – AJUSTE POR REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS

As melhores redes selecionadas para cada metodologia estão descritas abaixo.

- Metodologia A: segue abaixo os gráficos de distribuição dos resíduos para as cinco melhores RNAs (Figura 7). Nesta metodologia ao se processar as Redes Neurais Artificiais – RNA's, a configuração obtida das cinco melhores redes foram do tipo *Multilayer Perceptron* (MLP) para todas (Tabela 4.6). O mesmo algoritmo (*backpropagation*) foi utilizado para todos os treinamentos e para todas as metodologias estudadas.

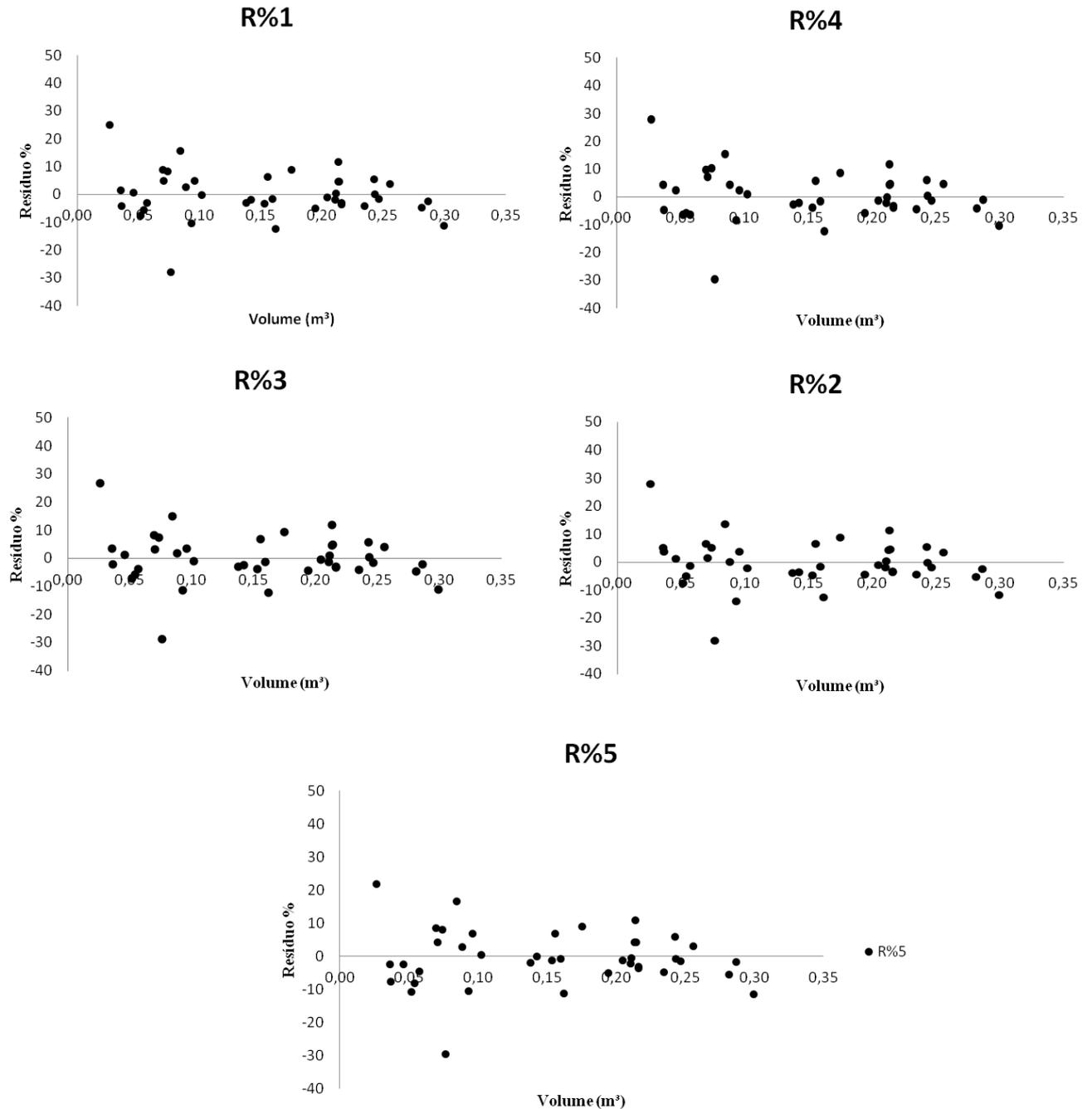


Figura 7. Gráficos de resíduos das redes treinadas para escolha da melhor rede para a Metodologia A, em que R% 1=R%2 =R%3=R%4=R%5= Erro em porcentagem da RNA.

Tabela 3. Valores de Erro Quadrático Médio para as RNA da Metodologia A, em que EQM = Erro Quadrado Médio; %RES = Média entre os valores de resíduo em porcentagem.

Redes	EQM	%RES
1	0,000109371	0,690275643
2	0,000108997	0,532344435
3	0,000108932	0,667714453
4	0,00010848	0,971372709
5	0,000108261	0,270153323

Considerando o que foi apresentado, para a Metodologia A percebe-se que todas as redes obtiveram o comportamento semelhante dos resíduos. Porém, para esta metodologia, escolheu-se a RNA 2. O erro de treinamento desta rede foi o segundo menor entre todas as outras (0,5323), mas o primeiro critério de escolha foi baseando-se na distribuição homogênea dos resíduos no gráfico, onde este apresentou resultados menos enviesados quando comparado às outras redes. Em seguida, observou-se o valor do EQM e da %RES, conforme exposto na tabela acima. Para os valores de EQM, quanto menor, melhor é a precisão da estimativa e se próximo de zero, melhor o resultado (BINOTI 2012) Portanto que para esta metodologia, a melhor configuração é dada pela RNA 2, com os valores de EQM = 0,0001089 e de variação média dos resíduos de 0,53%.

- Metodologia B: Para esta metodologia a RNA 4 foi a escolhida, prevalecendo a escolha do gráfico de resíduos, onde não se observa vieses de subestimação ou superestimação dos valores calculados a partir dela. Da mesma forma, também foram considerados os critérios dos valores do erro quadrado médio e a média dos resíduos em porcentagem.

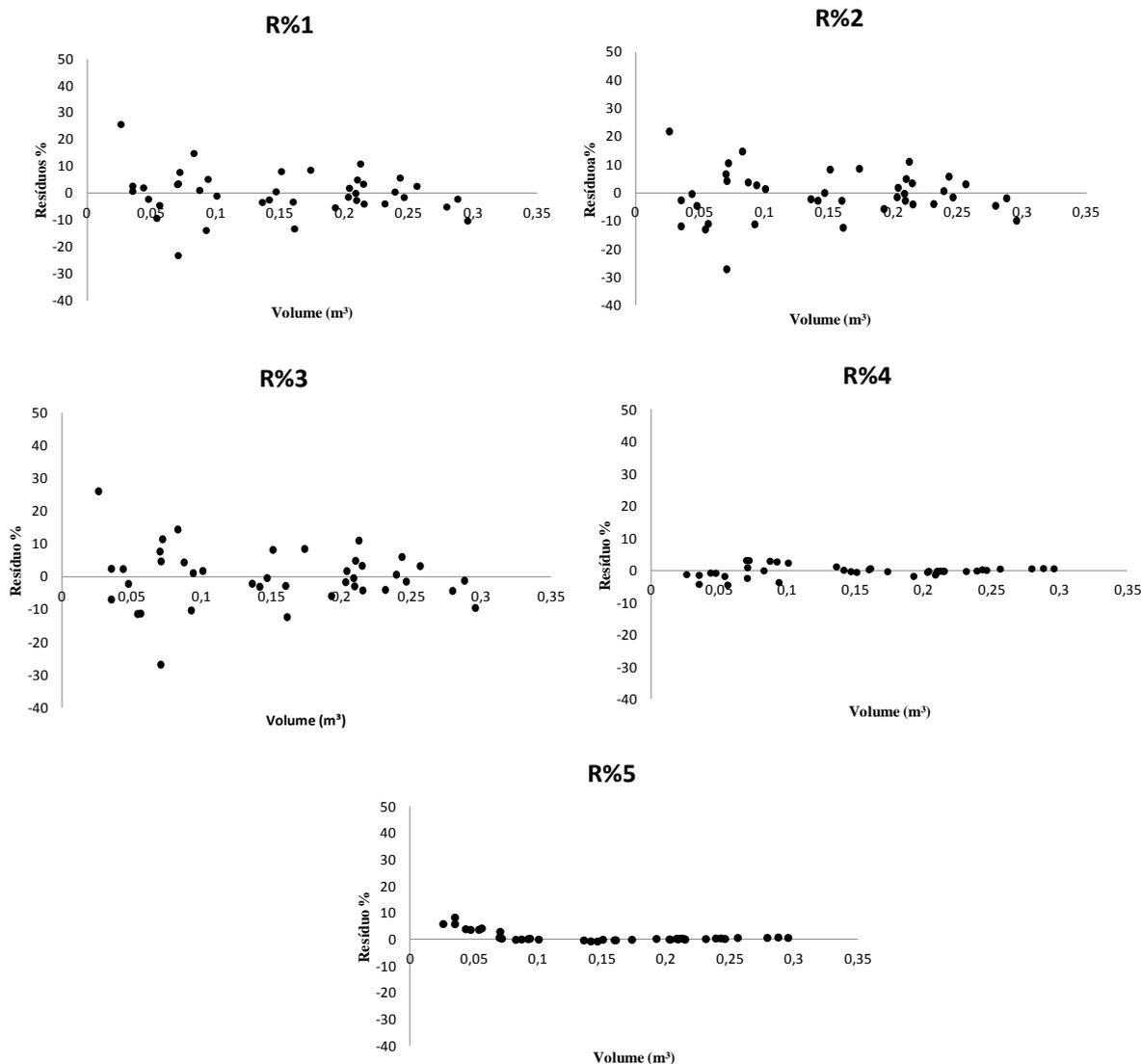


Figura 8. Gráfico de resíduos para a Metodologia B, em que $R\%1=R\%2=R\%3=R\%4=R\%5=$ Erro em porcentagem da RNA.

Tabela 4. Valores de Erro Quadrático Médio para as RNA da Metodologia B, em que EQM = Erro Quadrado Médio; %RES = Média entre os valores de resíduo em porcentagem.

Redes	EQM	%RES
1	9,92389E-05	0,71544
2	9,92097E-05	-0,0152
3	9,82431E-05	0,56019
4	9,79422E-05	0,52795
5	9,7113E-05	0,83298

- Metodologia C: Para a terceira metodologia, a dispersão dos resíduos apresentou-se graficamente ótima para a Rede 2. Dessa forma, a RNA escolhida baseada nos critérios já citados foi a RNA 2, e obteve-se o erro de treinamento de 0,3836. Ressalta-se que

os erros de treino obtidos para esta metodologia foram muito próximos oscilando entre 0,3830 a 0,3838.

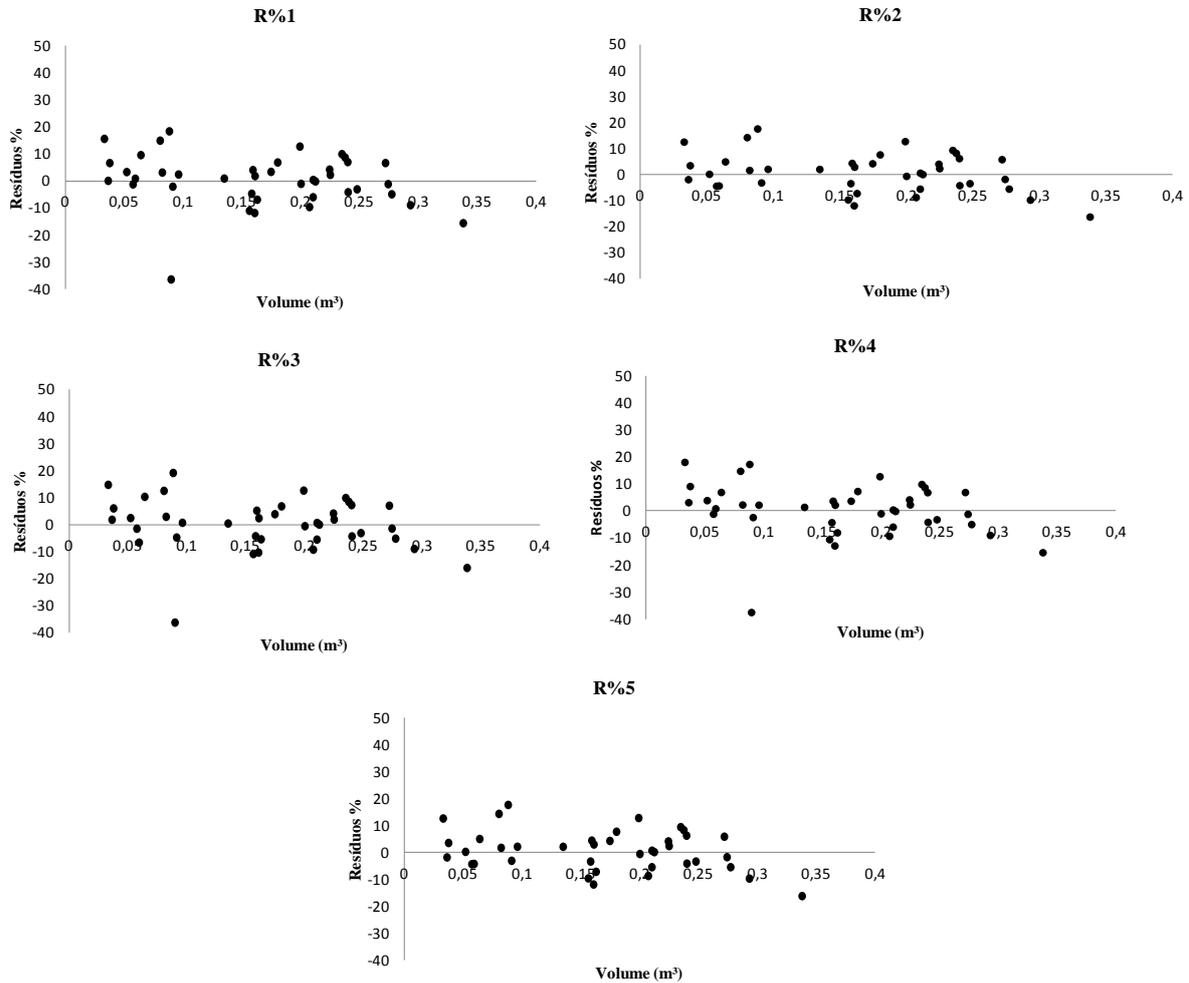


Figura 9. Gráfico de dispersão de Resíduos para Metodologia C, em que $R\%1=R\%2=R\%3=R\%4=R\%5$ = Erro em porcentagem da RNA.

Tabela 5. Valores de Erro Quadrático Médio para as RNA da Metodologia B, em que EQM = Erro Quadrado Médio; %RES = Média entre os valores de resíduo em porcentagem.

RNA	EQM	%RES
1	0,00021444	1,09147
2	0,00021422	1,03981
3	0,00021415	0,86798
4	0,00021385	1,24354
5	0,00021348	0,40304

4.3 – VALIDAÇÃO

A Figura 4.9 apresenta a dispersão dos resíduos com o erro quadrático médio para os dados validados para a melhor rede para a metodologia A. Observa-se, contudo que para este

método de ajuste, a RNA escolhida para a primeira metodologia apresentou uma homogeneidade na dispersão de seus resíduos.

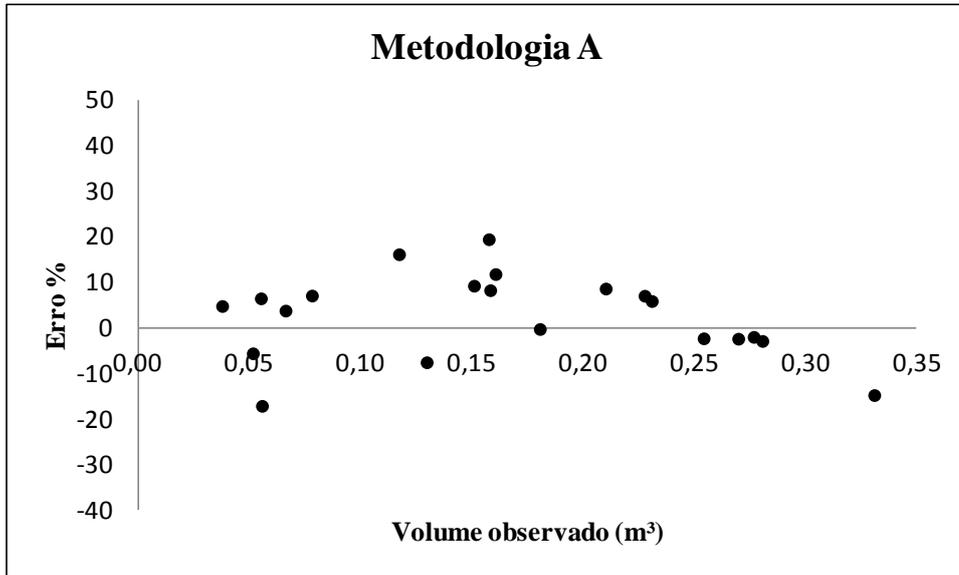


Figura 10. Gráfico de distribuição de resíduos da Rede Neural Artificial obtida para Metodologia A.

Para a metodologia B (Figura 10), houve uma leve tendência na estimativa dos maiores diâmetros, tendendo a subestimá-los. Ao contrário dos menores volumes, que houve uma boa estimativa, por este método de ajuste. Para o erro médio, o aceito é que quanto menor, melhor (BINOTI, 2012). Apesar de a média dos resíduos, não ter sido o menor entre o comparativo das redes consideradas, 1,03% de variação ainda é baixa. Considera-se, portanto, que a metodologia B obteve a confirmação dos estudos de que esta metodologia apresenta resultados otimistas quando os volumes são extrapolados por redes neurais artificiais (BINOTI *et al.*, 2014).

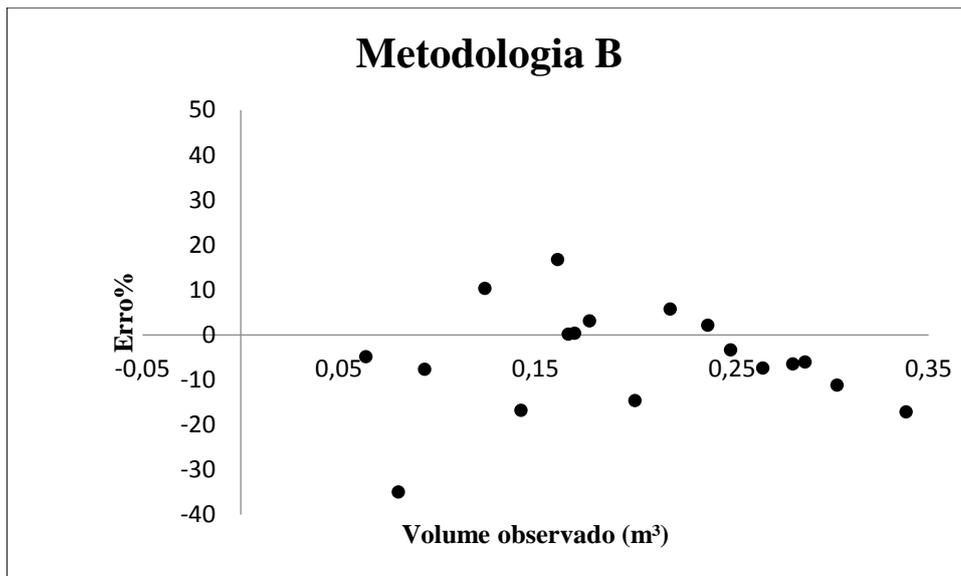


Figura 11. Gráfico de distribuição de resíduos para a Metodologia B.

A metodologia C, superestimou os volumes principalmente os maiores, quando estes foram extrapolados.

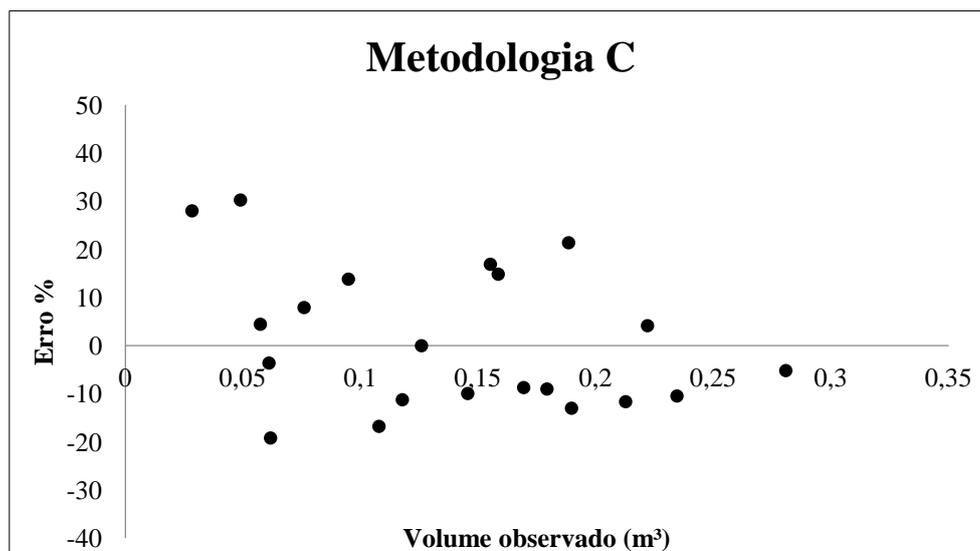


Figura 12. Gráfico de dispersão de resíduos a metodologia de seções variáveis.

Porém ao se analisar a configuração da rede escolhida, percebe-se que a rede que obteve o melhor resultado foi a rede de configurações mais simples (menor erro de treinamento). Silva *et al.* (2014) em seu trabalho confirmam que obtiveram resultados mais satisfatórios com apenas um neurônio na camada oculta, fato este não refletido por este estudo. Mas também salientam que redes de estruturas complexas, são dispensáveis na estimação de volumes de árvores. Os mesmos autores, em outros estudos, confirmam a melhoria dos resultados ao se incorporar variáveis qualitativas ao estudo.

Diante dos resultados validados, a metodologia A obteve melhores estimativas quando aplicada, dentre os ajustes feitos por Redes Neurais. A metodologia C que utiliza seções variáveis, mostrou-se enviesada tendendo a subestimar ou às vezes superestimar os valores de volume. Por outro lado, o ajuste por seções variáveis apresenta-se como uma alternativa viável, quanto a qualidade dos ajustes. Ampliando-se as análises, estudos futuros podem comprovar aspectos como maior precisão na base do fuste, número de medições, rapidez e ergonomia no trabalho a campo. No entanto, para melhorar a qualidade dos ajustes, considerando as metodologias B e C, sugere-se que em estudos futuros considere variáveis qualitativas como clone, sítio entre outras podem fazer com que se obtenham melhores resultados de ajuste (SILVA et al., 2009). Apesar de não mensurar o tempo, a metodologia C, não apresentou aumento do custo tempo (observação de campo).

4.4 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VOLUMES

O resultado do teste t pareado está descrito na Tabela 4.4. Comparando com a testemunha (valor observado para a metodologia A) com as demais metodologias, houve diferença significativa entre os volumes observados e os volumes estimados pelo ajuste da regressão para as metodologias A e B. Ou seja, a metodologia C apresentou validação aceitável, para as duas formas de ajuste não diferindo assim a estimativa por regressão. Enquanto que todas três metodologias obtiveram validação aceitável apenas para as RNA.

Tabela 6. P-valor do Teste t pareado. Em que A = Metodologia A; B= Metodologia B; C= Metodologia C; RNA = Redes Neurais Artificiais; Vol = volume em m³.

	Vol_observado			Vol_Regressão			Vol_RNA			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Vol_observado	A	-	0,380	0,409	0,007*	0,000*	0,202	0,856	0,997	0,203
	B		-	0,429	0,014	0,002*	0,215	0,743	0,880	0,216
	C			-	0,485	0,211	0,585	0,382	0,399	0,609
Vol_Regressão	A			-	0,000*	0,245	0,568	0,398	0,166	
	B				-	0,088	0,030*	0,020*	0,086*	
	C					-	0,160	0,168	0,869	
Vol_RNA	A						-	0,282	0,162	
	B							-	0,169	
	C								-	

*Diferença significativa a 5% de probabilidade.

Entende-se a partir dos resultados da tabela que apesar da estatística dos ajustes das regressões serem satisfatórias para todas as metodologias analisadas, a validação dessas regressões demonstra que a metodologia C apresentou o melhor resultado tanto para o ajuste

feito com regressão quanto com RNA. Por outro lado, para os ajustes fazendo uso de Redes Neurais Artificiais, houve significância para todas as metodologias testadas.

Em termos de comparação entre os métodos de ajuste, para aplicabilidade dos dados, o uso de Redes Neurais Artificiais apresentou-se como a melhor alternativa para a estimativa de volume de árvores. Neste trabalho, o método foi comprovado ao se observar a qualidade dos ajustes. Tal fato também se comprova em inúmeros outros trabalhos (BINOTI *et al.*, 2014a; BINOTI *et al.*, 2014 b; BINOTI *et al.*, 2014c; GORGENS *et al.*, 2014; GORGENS *et al.*, 2009; CASTRO *et al.*, 2013;)

Para as metodologias de seções que utilizam comprimentos variáveis, independentemente do método utilizado para o ajuste, quanto menor for o comprimento da seção, maior a precisão será obtida na determinação volumétrica (CAMPOS, 1988). Fato comprovado onde a medição por esta metodologia consegue captar, ao se aumentar o número de seções na base do fuste, maior precisão nas estimativas nesta região.

6 – CONCLUSÃO

Conclui-se a partir das análises que em relação ao ajuste por regressão, a metodologia C obteve melhores resultados para ser aplicado de forma prática em situações reais. Para os ajustes feitos por RNA, obtiveram-se igualmente resultados satisfatórios para as três metodologias testadas.

Portanto, recomenda-se que ao se ajustar com regressão, utilizar a metodologia de C. Todavia, se for aplicado Redes Neurais Artificiais, qualquer metodologia estudada apresentará bons resultados. Mas como a metodologia B é tradicional em termos de cubagem rigorosa, recomenda-se a sua utilização, associada a utilização das RNA como forma de ajuste.

Finaliza-se recomendando-se que os resultados do estudo permitem propor ao tomador de decisão, escolhas, sendo que a primeira é manter a tecnologia e usar a forma de ajuste por regressão podendo usar a metodologia proposta; ou então, avançar em termos tecnológicos com investimento em Redes Neurais Artificiais e manter as metodologias tradicionais de cubagem (A e B).

7 – BIBLIOGRAFIA

CABACINHA, C.D. Um método para realização do Inventário Florestal suprimindo a cubagem rigorosa. In: **Dissertação, UFLA, 2003.**

- PAULA NETO, F. Tabelas volumétricas com e sem casca para *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa v.1, p.31-34, 1977.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS — ABRAF, “**Estatística anual da ABRAF: ano base 2012.**” Brasília, Brasil, 2013.
- BINOTI, D.H.B.; BINOTI, M.L.M.S.; LEITE, H.G. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Revista Ciência da Madeira**, v. 5, p. 58-67, 2014.
- BINOTI, D.H.B.; BINOTI, M.L.M.S.; LEITE, H.G.; SILVA, A.A.L.; ALBUQUERQUE, A.C. Modelagem da distribuição de diâmetros utilizando autômatos celulares e redes neurais artificiais. **Cerne**, v. 19, p. 677-685, 2013.
- BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; FERREIRA, M. Z.; RODE, R.; SILVA, A.A.L. Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Revista Árvore**, v. 38, p. 283-288, 2014.
- 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**, v. 37, p. 639-645, 2013.
- CABACINHA, C.D. Recursive diameter prediction for calculating merchantable volume of *Eucalyptus* clones without previous knowledge of total tree height using artificial neural networks. **Applied Soft Computing**, v. 12, p. 2030-2039, 2012.
- CAMPOS, J.C C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4ª ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013. v. 1. 605p.
- CASTRO, R.V.O.; SOARES, C.P.B.; LEITE, H. G.; LOPES, A.S.; NOGUEIRA, G.S.; MARTINS, F.B. Individual Growth Model for *Eucalyptus* Stands in Brazil Using Artificial Neural Network. **Forestry**, v. 2013, p. 1-12, 2013.
- DAP FLORESTAL. **Tutorial de Redes Neurais Artificiais – Neuroforest**. Março, 2014.
- FERRAZ, A.S.; SOARES, V.P.; SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, C.A.S.; BINOTI, D.C.B.; LEITE, H.G. Estimativa de estoque de biomassa em um fragmento florestal usando imagens orbitais. **Revista Floresta e Ambiente**, UFRJ, 2014.
- SCOLFORO, J.R.S.; FIGUEIREDO, F. A. **Biometria Florestal: medição e volumetria de árvores**. Lavras UFLA/FAEF, 1998.
- FISCHER, F.; SCOLFORO, J.R.; ACERBI-JUNIOR, F.W.; MELLO, J.M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, 2001.
- GOMES, A.M.A. **Medição dos arboredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa, 413p., 1957.
- GORGENS, E.B.; LEITE, H.G.; GLERIANI, J.M.; SOARES, C.P.B.; CEOLIN, A. Influência da arquitetura na estimativa de volume de árvores individuais por meio de redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, v. 38, p. 289-295, 2014.

- GORGENS, E.B.; LEITE, H.G.; SANTOS, H.N.; GLERIANI, J.M. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p. 1141-47, 2209.
- HAYKIN, S. **Redes Neurais: Princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- HUANG, J.; GUANQIN, G.; GUO, F. Forest Growth Simulation Based on Artificial Neural Network. **Henan Agricultural University**, Zhengzhou, China, 2012.
- HUSCH, B.; BEERS, T.W.; KERSHAW – JR., J.A. **Forest Mensuration**. p. 118-150. 4ª Edição, 2003.
- LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Um método para condução de Inventários Florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, v.26, n. 3, 2002.
- LOPES, P.F. Comprimento Ótimo das seções na cubagem rigorosa de árvores de Eucalipto para ajuste de modelos volumétricos e de *taper*. **Monografia**, Universidade de Brasília, 2014.
- MACHADO, S.A.; TÉO, S.J.; URBANO, E.; FIGURA, M.A.; SILVA, L.C.R. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para Bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 239-253, 2006.
- MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO-FILHO, A. **Dendrometria**. P.237-238, 2a Edição, Guarapuava – PR, 2006.
- MEIRA-JUNIOR, M.S.; OLIVEIRA, R.V.C.; NAPPO, M.E.; ENCINAS, J.M.I. Avaliação de uma nova metodologia para a determinação do volume por cubagem rigorosa. (?)
- MAEDA, E.E.; FORMAGGIO, A.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; ARCOVERDE, G.F.B.; LIMA, A. Forest fire risk in the Brazilian Amazon using MODIS images and artificial neural networks. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, 2009.
- MUNHOZ, C.B.R.; FELFILI, J.M. Fitossociologia do estrato herbáceo-subarbustivo em campo limpo úmido no Brasil Central. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, p. 905-913, 2008.
- NICOLETTI, MF. Comparação dos Métodos não-destrutivos de cubagem de árvores em pé visando à determinação da biomassa. **Dissertação**, ESALQ, 2011.
- ÖZBAYOĞLU, A. M. Estimation of the burned area in the forest fires using computational intelligence techniques. **Procedia Computer Science**, vol. 12. Universidade de Belgadro 2012.
- PATERSON, D.W.; WIANZ JUNIOR, H.V; WOOD, G.B. Errors in estimating the volume of butt logs. **Forest Products Journal**, Morgantown, v.43, n. 3, p. 41-44, Mar. 1993.
- PAULA NETO, F. Tabelas volumétricas com e sem casca para *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa v.1, p.31-34, 1977.

- PORTUGAL, M.S. **Notas Introdutórias sobre o Princípio da Máxima Verossimilhança: Estimação e Teste de Hipóteses.** DECON/UFRGS, Porto Alegre, 1995.
- RESENDE, P.S. Uso de redes neurais artificiais e objetos geográficos na classificação digital de imagens de sensoriamento remoto. **Dissertação**, Universidade Federal de Lavras, 2012.
- SAFI, Y; BOUROUMI, A. Prediction of Forest Fires using Artificial Neural Network. **Applied Mathematical Sciences**, vol. 7, n. 6, 2013.
- SCHOENINGER, E.R.; KOEHLER, H.S.; WATZLAWICK, L.F.; OLIVEIRA-FILHO, P.C. Uso de Redes Neurais Artificiais como uma alternativa para mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de florestas naturais. **Revista Ambiência**, v.4, n.3, p.529-49, Guarapuava – PR, 2007.
- SHIVER, B.D.; BRISTER, G.H. Tree and stand volume functions for *Eucalyptos saligna*. **Forest. Ecology Management**, vol. 47, p. 211-223, 1992.
- SILVA, M. L. M. DA; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M.; LEITE, H. G. 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.
- LL, F.S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, n.9, p.719-734, 1933.
- SCOLFORO, J.R.S.; FIGUEIREDO FILHO, A. Mensuração florestal 2: volumetria. Universidade Federal de Lavras: **ESAL/FAEPE**, 1993. 126p.
- SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M.; ALMEIDA LIMA, C.S. Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. **Cerne**, v.1, n.1, p.123-134, 1994.
- SILVA, I.N.; SPATTI, D.H.; FLAUZINO, R. A. **Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciências aplicadas.** São Paulo: Artliber, 2010.
- SILVA, J.A.A; NETO, F.P. **Princípios Básicos de Dendrometria.** UFRPE, 1979.
- SILVA, M.L.M.; BINOTI, D.H.B.; GLERIANI, J.M.; LEITE, H.G. Ajuste do Modelo de Schumacher e Hall e Aplicação de Redes Neurais Artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, vol. 33, n.6. Viçosa, 2009.
- SOARES, F.A.A.M.N.; FLORES, E. L.; CABACINHA, C.D.; CARRIJO, G.A.; VEIGA, A. C.P. Recursive diameter prediction for calculating merchantable volume of eucalyptus clones using Multilayer Perceptron. **Neural Computing & Applications**, v. 1, p. 1-1, 2012.
- SOARES, F.A.A.M.N.; FLORES, E.L.; CABACINHA, C.D.; CARRIJO, G.A.; VEIGA, A. C.P. Recursive diameter prediction and volume calculation of Eucalyptus trees using multilayer perceptron networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 78, p. 19-27, 2011.

- THOMAS, C.; ANDRADE, C.M.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.
- TODT, V. Avaliação do desempenho de classificadores neurais para aplicações em sensoriamento remoto. **Dissertação**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.
- WIANT JUNIOR, H.V; WOOD, G. B; FURNIVAL, G. M. Estimating log volume using the centroid position. **Forest Science**, Bethesda, v.38, n. 1, p. 187-191, 1992.
- YOUNG, H.E.; ROBBINS, W.C; WILSON, S. Errors in volume determination of primary forest products. **Pulp & Paper Magazine of Canada**, Quebec, v. 68, p. 389-394, 1967.