

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDRÉ MENDES BARCELLOS

AVALIAÇÃO DE MODELOS VOLUMÉTRICOS E FATOR DE FORMA PARA  
ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL DE JACARANDÁ-DA-BAIÁ  
(*Dalbergia nigra* (Vell.) Allemao ex Benth) EM FLORESTAS NATIVAS

CURITIBA

2020

ANDRÉ MENDES BARCELLOS

AVALIAÇÃO DE MODELOS VOLUMÉTRICOS E FATOR DE FORMA PARA  
ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL DE JACARANDÁ-DA-BAÍÁ  
(*Dalbergia nigra* (Vell.) Allemao ex Benth) EM FLORESTAS NATIVAS

Monografia apresentada ao curso de Graduação  
em Engenharia Florestal, Setor de Ciências  
Agrárias, Universidade Federal do Paraná,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Allan Libanio Pelissari  
Co-Orientador: Dr. Vinicius Costa Cysneiros

CURITIBA

2020

## RESUMO

O conhecimento do volume de madeira disponível em uma floresta é informação importante para nortear as ações de manejo florestal. Entretanto, diversas são as formas de obtenção desta variável. O objetivo deste trabalho foi comparar metodologias para estimativa do volume de madeira da espécie *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth., o jacarandá-da-baía, no bioma Mata Atlântica, visando gerar conhecimento para nortear a seleção de métodos para estimativa volumétrica. A amostra contém 29 indivíduos identificados em unidades amostrais distribuídas pelo Estado do Rio de Janeiro nas fitofisionomias Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual. Foram coletados os diâmetros a 1,3 m de altura, alturas dos fustes, alturas totais e determinados os volumes dos fustes através do método de Smalian. Para a cubagem, foram coletados os diâmetros a 0,3, 0,5, 1,0 e 2,0 m de altura, bem como a cada um metro de altura a partir deste até a base da copa, obtidos por método não-destrutivo através do uso de técnicas e equipamentos de escalada. O processamento dos dados ocorreu no *software* estatístico R, sendo ajustados três modelos volumétricos clássicos por meio da análise de regressão linear: Husch, Spurr e Schumacher-Hall. O melhor foi selecionado com base nos critérios estatísticos: maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), menor erro padrão da estimativa em porcentagem ( $Sy_x\%$ ) e ausência de tendências na análise gráfica dos resíduos, bem como a normalidade de suas distribuições através do teste de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade pelo teste de Breusch-Pagan, ambos ao nível de 95% de probabilidade. O modelo de Spurr obteve os melhores valores de  $R^2_{aj.}$  e de  $Sy_x\%$  ( $R^2_{aj.} = 0,9356$ ; e  $Sy_x\% = 21,89\%$ ), entretanto, apresentou distribuição não-normal dos resíduos, característica que pode resultar em estimativas não confiáveis para a variável dependente. Deste modo, o modelo de Schumacher-Hall ( $R^2_{aj.} = 0,9320$ ; e  $Sy_x\% = 22,48\%$ ) foi selecionado para a comparação com os métodos de estimativa a partir dos fatores de forma médio e igual a 0,7, valor usual nas ciências florestais. O teste de Breusch-Pagan retornou a presença de homocedasticidade para todos os modelos. Para as estimativas através do uso dos fatores de forma igual a 0,7 e médio, foi inicialmente obtido o volume do cilindro de cada árvore, tendo como base o  $d$  e a altura do fuste, bem como o fator de forma artificial de cada árvore, visando obter o fator de forma médio por meio da média aritmética de todos os fatores de forma da amostra. O fator de forma médio de 0,65. A comparação entre as metodologias e os volumes observados foi feita através do teste estatístico não-paramétrico de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de significância. Visto não haver diferenças estatisticamente significativas entre os volumes observados e os volumes estimados pelas metodologias, pode ser preconizado uso do fator de forma igual a 0,7 para a espécie na área de estudo. Como vantagem, não é necessária a obtenção da altura total, variável dependente no método de regressão, bem como do volume do fuste para a modelagem e obtenção do fator de forma médio.

Palavras-chave: Comparação de metodologias. Mata Atlântica. Regressão linear. Volumetria.

## ABSTRACT

The knowledge of the wood volume available in a forest is important information to guide forest management actions. However, there are several ways to obtain this variable. The objective was to compare methodologies for estimating the wood volume of the species *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemao ex Benth., the Baía rosewood, in the Atlantic Forest biome, aiming to generate knowledge to guide the selection of methods for volumetric estimation. The sample contains 29 individuals identified in sample units distributed throughout the State of Rio de Janeiro in the phytophysiognomies Dense Ombrophilous Forest and Seasonal Semideciduous Forest. The diameters at 1.3 m height, stems heights, total heights were collected and volumes of the stems were determined using Smalian's method. For cubing, diameters were collected at 0.3, 0.5, 1.0 and 2.0 m height, as well as every one-meter in height from this to the base of the canopy, obtained by a non-destructive method using climbing techniques and equipment. Data processing occurred in the R statistical software and three classic volumetric models were adjusted through linear regression analysis: Husch, Spurr and Schumacher-Hall. The best was selected based on statistical criteria: higher adjusted coefficients of determination ( $R^2_{adj}$ ), lower standard error of the estimate in percentage ( $Syx\%$ ) and absence of trends in the graphic analysis of the residues, as well as the normality of their distributions through the Shapiro-Wilk test and homoscedasticity using the Breusch-Pagan test, both at the 95% probability level. The Spurr model obtained the best values of  $R^2_{adj}$  and  $Syx\%$  ( $R^2_{adj} = 0.9356$ ; and  $Syx\% = 21.89\%$ ), however, presented a non-normal distribution of residues, a characteristic that may result in unreliable estimates for the dependent variable. In this way, the Schumacher-Hall model ( $R^2_{adj} = 0.9320$ ; and  $Syx\% = 22.48\%$ ) was selected for comparison with the estimation methods based on the average form factors and equal to 0.7, usual value in the forest sciences. The Breusch-Pagan test returned the presence of homoscedasticity for all models. For the estimates using form factor equal to 0.7 and average, the volume of the cylinder of each tree was initially obtained, based on the DBH and the height of the stem, as well as the artificial form factor of each tree, aiming to obtain the average form factor by the arithmetic mean of all form factors in the sample. The average form factor was 0.65. The comparison between the methodologies and the observed volumes was made using the Kruskal-Wallis non-parametric statistical test at 5% of significance level. Since there are no statistically significant differences between the observed volumes and the volumes estimated by the methodologies, the use of form factor equal to 0.7 for the species in the study area can be recommended. As an advantage, it is not necessary to obtain the total height, a dependent variable in the regression method, as well as the volume of the stems for modeling and obtaining the average form factor.

Keywords: Comparison of methodologies. Atlantic Forest. Linear regression. Volumetry.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLAR DE JACARANDÁ-DA-BAÍÁ. ....	10
FIGURA 2 – EXSICATA E RAMO VERDE DE JACARANDÁ-DA-BAÍÁ.....	11
FIGURA 3 – MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO DE CUBAGEM DE ÁRVORES EM PÉ, EM QUE: A = CUBAGEM DE FUSTE COM USO DE ESCADA, B = CUBAGEM DE FUSTE COM EQUIPAMENTOS DE ESCALADA. ....	16
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS UNIDADES AMOSTRAIS ALOCADAS PELO IFN-RJ E DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES CUBADAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	17
FIGURA 5 - GRÁFICOS BOX-PLOT PARA AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES E PARA OS VOLUMES DE FUSTE DE <i>Dalbergia nigra</i> .....	23
FIGURA 6 - DIAGRAMAS DE DISPERSÃO RELACIONANDO AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COM OS VOLUMES DE FUSTE OBSERVADOS E A RELAÇÃO LOGARÍTMICA DO DIÂMETRO E DO VOLUME DO FUSTE DE <i>Dalbergia nigra</i> .....	25
FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DO FUSTE DE <i>Dalbergia nigra</i> . ....	27

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DO FUSTE DE <i>Dalbergia nigra</i> .....	19
TABELA 2 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES E OS VOLUMES DE FUSTE DE <i>Dalbergia nigra</i> . ....	24
TABELA 3 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DO FUSTE DE <i>Dalbergia nigra</i> . ....	26
TABELA 4 - RESULTADOS DO TESTE DE SHAPIRO-WILK APLICADO NOS MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DO FUSTE DE <i>Dalbergia nigra</i> .....	26
TABELA 5 - RESULTADOS DO TESTE DE BREUSCH-PAGAN APLICADO NOS MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DO FUSTE DE <i>Dalbergia nigra</i> . ....	27
TABELA 6 - RESULTADOS DO TESTE DE KRUSKAL-WALLIS APLICADO PARA COMPARAÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS.....	28

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>9</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO JACARANDÁ-DA-BAÍÁ ( <i>Dalbergia nigra</i> ).....	9
2.2 MODELOS VOLUMÉTRICOS PARA ESPÉCIES NATIVAS .....	12
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO E OBTENÇÃO DOS DADOS .....	15
3.2.1 Análise exploratória dos dados .....	17
3.2.2 Metodologias para estimativa volumétrica .....	18
3.2.2.1 Modelos avaliados.....	18
3.2.2.2 Critérios de avaliação e seleção dos modelos .....	19
3.2.2.3 Aplicação de fatores de forma.....	21
3.2.3 Comparação entre as metodologias.....	22
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
4.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS .....	23
4.2 SELEÇÃO DO MELHOR MODELO.....	25
4.3 FATORES DE FORMA 0,7 E MÉDIO .....	28
4.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS .....	28
4.5 UTILIDADE NO ÂMBITO DE POLÍTICAS PÚBLICAS.....	29
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>30</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>42</b>
Apêndice A – SCRIPT .....	42
Apêndice B – Dados coletados e volumes observados e estimados de <i>Dalbergia nigra</i> . .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

A avaliação do estoque de madeira disponível em uma floresta é um aspecto a ser observado para garantir a sustentabilidade de um sistema de manejo. Deste modo, é pertinente o conhecimento da estimativa do potencial madeireiro de espécies do bioma Mata Atlântica por servir de apoio ao monitoramento, bem como embasamento para a classificação e seleção das áreas quanto à aptidão para a exploração florestal sustentável, o que permite fazer o uso racional e otimizado dos recursos disponíveis, sejam estes a floresta em si, o capital real e o financeiro, visando a valorização econômica, a produção permanente de bens e a geração de externalidades positivas (POKORNY et al., 2011).

Segundo Correia (2015), a determinação do volume de espécies florestais é uma informação básica para o planejamento adequado do manejo, visando o correto ordenamento e dimensionamento da produção em níveis sustentáveis. Entretanto, em florestas nativas, por ser uma variável de difícil obtenção, sua determinação acarreta em aumento de custos. Deste modo, o ajuste de modelos estatísticos para a estimativa volumétrica, através de variáveis de mais simples obtenção, surge como alternativa de menor impacto financeiro. Neste contexto, a otimização das atividades de escritório através do uso de métodos computacionais, como o uso de linguagens de programação para o processamento e modelagem dos dados, que atendam aos objetivos do inventário florestal, torna mais ágil e prática a obtenção de informações de interesse sobre as florestas, que subsidiarão as tomadas de decisão no manejo florestal e atingir os objetivos do empreendedor florestal.

Diversas são as maneiras de obter as informações sobre volume de madeira disponível nas florestas, como as funções de afilamento, equações de volume, fator de forma, equações de povoamento e funções splines (SCOLFORO et al, 1994; CLUTTER, 1980 apud SCHIKOWSKI et al., 2018). Cada metodologia tem suas características e seus usos justificados pelo contexto em que se inserem, período em que foram formuladas, nível de qualidade da informação que se almeja, disponibilidade de recursos e pelo conhecimento técnico sobre o tema dos profissionais que as utilizam. Portanto, a discussão em torno da forma mais adequada de obtenção das informações



entre as diferentes metodologias disponíveis torna-se necessária. Portanto, o objetivo geral deste trabalho é comparar três metodologias para estimativa do volume comercial, definido neste trabalho como o volume do fuste, de uma espécie florestal nativa do bioma Mata Atlântica, visando gerar conhecimento para nortear a seleção de métodos para estimativas deste recurso florestal.

Os objetivos específicos foram: 1) Ajustar três modelos e selecionar o melhor para estimativa do volume da espécie *Dalbergia nigra* a partir da altura total e do diâmetro a 1,3 m de altura (d); 2) Estimar o volume do fuste através do uso dos métodos do fator de forma igual a 0,7 e fator de forma médio a partir da altura do fuste e d; e 3) Comparar estatisticamente as estimativas geradas pelas três metodologias abordadas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO JACARANDÁ-DA-BAÍA (*Dalbergia nigra*)

O jacarandá-da-baía (*Dalbergia nigra* (Vell.) Allemao ex Benth.) é uma angiosperma pertencente à família Fabaceae nativa e de ocorrência natural exclusiva da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica), com características de espécie secundária tardia à clímax. Ocorre naturalmente ao longo dos estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, sendo encontrada em altitudes que variam de 30 m a 300 m no Sul da Bahia e Norte do Espírito Santo, atingindo 700 m em Minas Gerais e até 1,700 m no Rio de Janeiro. A distribuição natural do jacarandá-da-baía é observada nos climas, segundo a classificação climática de Köppen, Af, Aw, transição Aw/Bsh, Am, Cwa e Cwb, ou seja: tropical Af no litoral da Bahia; Am e Aw no interior da Bahia e no Espírito Santo; semi-árido (transição Am/Bsh) no sertão da Bahia, subtropical de altitude Cwa, no Rio de Janeiro e Cwb em Minas Gerais (GALVÃO et al., 1979; CARVALHO, 1994; RÊGO; POSSAMAI, 2003).

As condições ambientais ideais para seu desenvolvimento e crescimento são temperaturas médias entre 19 a 25 °C e precipitação acima de 2.000 mm anuais, porém nas áreas de ocorrência natural, há registros de precipitações anuais desde 1.100 mm (Rio de Janeiro) até 2100 mm (Bahia). No aspecto topográfico, a ocorrência da espécie geralmente se dá em terrenos ondulados e montanhosos, nos topos e encostas de elevações com solos de predominância argilosa e argilo-arenosa, profundos e bem drenados (CARVALHO, 1994; RÊGO; POSSAMAI, 2003).

Seus espécimes possuem em geral altura entre 25 m e 35 m, e DAP entre 15 cm e 45 cm, com tronco tortuoso e irregular, fuste com até 10 m de comprimento e volume de madeira em torno de 2 m<sup>3</sup> em indivíduos adultos. Galvão et al. (1979), examinando um povoamento com 57 meses de idade da espécie na Amazônia, observaram que 7% das árvores apresentaram boa forma de fuste, 35% forma regular e 58% tinham a forma do fuste inadequada. A filotaxia é composta, alternada e paripinada, com 10 - 20 folíolos glabrescentes (CARVALHO, 1994; RÊGO; POSSAMAI, 2003).

FIGURA 1 – EXEMPLAR DE JACARANDÁ-DA-BAÍA (Fonte: LORENZI, 2008).



FIGURA 2 – EXSICATA E RAMO VERDE DE JACARANDÁ-DA-BAÍÁ (Fonte: LORENZI, 2008).



A madeira possui retratibilidade média e resistência mecânica entre média e alta, com densidade normalmente, entre 0,80 a 1,00 g.cm<sup>-3</sup>. Seus óleos essenciais lhe garantem um odor agradável e peculiar, além de possuir alta resistência à agentes xilófagos. Pela sua beleza e propriedades de sua madeira, com cerne geralmente pardo-escuro arroxeadado (CARVALHO, 1994), a *Dalbergia nigra* se popularizou desde o tempo colonial, não apenas em território nacional, mas no comércio exterior de madeiras (CARVALHO, 1990), sendo utilizada tradicionalmente para o artesanato, mas principalmente para decoração e revestimento, mobiliário de luxo e instrumentos musicais, como pianos, e conhecida mundialmente na fabricação de móveis e pisos nobres. A espécie foi alvo de intensa exploração, que aliada à degradação de seu *habitat* natural,

resultaram em redução da sua população (CARVALHO, 1994; RÊGO; POSSAMAI, 2006). Como consequência, a espécie atualmente integra o Livro Vermelho da Flora do Brasil (CNCFLORA, 2013) e a Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN) na categoria vulnerável (IUCN, 2020).

Conforme Rêgo e Possamai (2003), é uma espécie com alto potencial para o manejo florestal sustentável, motivado pela facilidade de comercialização no mercado atual, alta taxa de regeneração em florestas alteradas e fácil adaptação em terrenos de baixa fertilidade. Segundo Carvalho (1994) a rotação para dimensão de madeira comercial é estimada, no Espírito Santo, em 40 anos, quando espera-se uma produção de  $100 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$  a  $150 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ . Leão e Vinha (1975) informam que o jacarandá-da-baía não é uma espécie exigente em fósforo e prefere solos com baixo teor de alumínio (até  $5.0 \text{ meq}/100 \text{ g}$ ). Quanto às suas utilizações, Carvalho (1994) cita que a espécie é recomendada para recuperação ambiental, especialmente do solo, por depositar razoável camada de folhas (VINHA; PEREIRA, 1983; VINHA et al., 1985) para arborização de pastos ou para arborização de culturas. Lara et al. (2015), avaliando a influência de árvores de *Dalbergia nigra* em pastagens da zona da mata mineira não detectaram influência negativa da espécie no desenvolvimento do capim gordura (*Melinis minutiflora*). Segundo Lorenzi (2008), a árvore é muito ornamental devido a sua folhagem delicada e forma aberta da copa, sendo largamente empregada no paisagismo.

Apesar da falta de interesse no plantio comercial da espécie, motivada pela difusão da ideia sobre o seu crescimento lento, estudos sobre a espécie devem ser realizados, pois além do elevado valor comercial, a espécie apresenta associação simbiótica com *Rhizobium* (CARVALHO, 1994) com capacidade de conversão do nitrogênio atmosférico em amônia assimilável pelas plantas (GALVÃO et al., 1979).

## 2.2 MODELOS VOLUMÉTRICOS PARA ESPÉCIES NATIVAS

A variável volume pode ser considerada uma das principais características para avaliar o potencial da floresta (MOURA, 1994), sendo em muitos casos a principal variável que se deseja conhecer. Os volumes reais das

árvores são obtidos por procedimento direto de medições na árvore cortada ou em pé, definido como cubagem. Entretanto, devido à impossibilidade de cubagem de todas as árvores amostradas, a estimativa do volume das demais árvores pode ser efetuada a partir de equações volumétricas (SANQUETTA et al., 2014). As estimativas volumétricas de uma floresta são obtidas através de inventários florestais, onde, utilizando-se recursos estatísticos, mede-se pequenas amostras representativas de uma área em avaliação (FIGUEIREDO FILHO, 1983).

Segundo Souza e Jesus (1991), a obtenção de uma equação de volume envolve três etapas distintas: amostragem, cubagem rigorosa e seleção de modelos volumétricos. A partir dos dados obtidos de uma amostra representativa dos indivíduos da floresta, ajusta-se o modelo de volume, utilizando variáveis de fácil medição, como o diâmetro à altura do peito (d), medido a 1,3 m de altura, e a altura como variáveis independentes na equação. As equações de volume, ajustadas via de análise de regressão, são consideradas umas das opções mais adequadas para obtenção dos volumes de madeira, sendo também robustas e fáceis de aplicar. A construção de modelos geralmente é precedida por uma análise de correlação entre as variáveis coletadas, o que permite que sejam selecionadas as variáveis que apresentam maiores correlações para constituírem o modelo (SANQUETTA et al., 2014).

Diversos são os autores que ajustaram modelos de volume de madeira para espécies florestais nativas a partir de variáveis de mais fácil medição e obtiveram êxito nas avaliações dos modelos utilizados, em função dos critérios de seleção. Segundo Correia (2015), a maior parte dos trabalhos sobre volumetria com espécies nativas se concentram na Amazônia e no Cerrado, devidos a possibilidade de manejo nestas áreas. Para a região da Amazônia, cita-se: Silva e Carvalho (1984); Higuchi e Ramm (1985); Moura (1994); Rolim et al. (2006); Hiramatsu (2008); Colpini et al. (2009); Thaines et al. (2010); Barros e Silva Junior (2011); Barreto et al. (2014); Miranda et al. (2014); Silva e Santana (2014); Gimenez et al. (2015); Tonini e Borges (2015); Cysneiros (2016); Oliveira et al. (2017); Cysneiros et al. (2017); e Cruz et al. (2019). Também existem estudos do mesmo tema voltados para a região da Floresta Ombrófila Densa, como Souza e Jesus (1991), Scolforo et al (1994), Oliveira (2003), Amaro (2010), Carvalho et al (2010) e Correia et al. (2017). Especificamente na Floresta

Ombrófila Mista na região Sul do Brasil, há os trabalhos de Machado et al. (2000) para a *Araucaria angustifolia* e Berger (2007) para *Ilex paraguariensis*. No Cerrado, alguns autores são Rezende et al. (2006), Imaña-Encinas et al. (2009), Rocha (2011) e Gama et al. (2015).

Diversos destes trabalhos são de uso local/regional, sem possuir especificidade de espécies. Entretanto, considerando a diversidade de espécies que compõem os biomas brasileiros, bem como a diversidade de tamanhos das árvores, modelos de volume deveriam ser ajustados para espécies individualmente ou para grupos de espécies com características semelhantes, visando aumentar a exatidão das estimativas volumétricas (SOARES et al., 2011).

No geral, e na maior parte da bibliografia consultada, o modelo tradicional de Schumacher-Hall é o que melhor se ajusta aos dados de  $d$  e altura. Este modelo é consagrado na literatura florestal e seu uso bastante difundido no setor em função de seu bom ajuste na maioria das vezes, e por resultar em estimativas precisas e sem tendências (AMARO, 2010).

Segundo Scolforo et al. (1994), a quantificação de volumes de árvores individuais também é obtida por outras metodologias, como as equações de povoamento, funções de forma, funções *splines* e o fator de forma. O fator de forma, segundo Prodan et al. (1997), é um fator de redução do volume do cilindro ao volume real da árvore. De acordo com Clutter et al. (1983) citados por Moura (1994), o volume da árvore é usualmente considerado uma função do diâmetro à 1,3 m do solo, da altura total e de uma expressão da forma da árvore ( $v = f(d, h, f)$ ).

Para as florestas nativas brasileiras, principalmente na região da Amazônia, por muito tempo, foi utilizado de forma generalizada o fator de forma igual a 0,7 proposto por Heinsdijk e Bastos em 1963 para estimativa volumétrica (ROLIM et al., 2006; HIRAMATSU, 2008; CYSNEIROS, 2016). Entretanto, segundo Machado et al. (2005), o fator de forma é influenciado por fatores como espécie, sítio e idade das árvores.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO E OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados foram obtidos da cubagem de árvores realizada ao longo do Estado do Rio de Janeiro, nas fitofisionomias predominantes, Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Floresta Estacional Semidecidual (FESD) (CYSNEIROS et al., 2020). A Floresta Ombrófila Densa se divide em cinco categorias e é caracterizada pela dominância de árvores grandes (entre 25-30 m de altura), com folhagens persistentes e associadas à epífitas e lianas. A Floresta Estacional Semidecidual ocorre em regiões onde o ano se divide em duas estações mais definidas: uma tropical com intensas chuvas de verão e curtos períodos de estiagem, e outra subtropical com baixas temperaturas de inverno e precipitação. Durante este desfavorável período seco e frio, entre 20% e 50% das árvores do dossel perdem as suas folhas (SCHEER e BLUM, 2011). De acordo com a classificação climática de Köppen, o território do Estado está situado em uma zona de transição entre os climas tropical e subtropical úmido, com a predominância dos climas Aw e Cwa e ocorrência em menores proporções dos climas Cfa, Cfb, Cwb, Af e Am. A temperatura média anual do ar varia entre 12 °C e 24 °C, com precipitação anual entre 1.000 e 2.200 mm (ALVARES et al., 2013).

À luz da Lei nº 11.428/06, conhecida como "Lei da Mata Atlântica", o corte e supressão da vegetação no bioma são condicionados à diversos fatores, como a sua condição de vegetação primária ou secundária, o estágio de regeneração destas, bem como à avaliação e autorização do órgão ambiental competente, inclusive em condições de pesquisa científica (BRASIL, 2006). Portanto, devido às restrições legais relacionadas a derrubada de árvores no bioma Mata Atlântica, a obtenção dos volumes das árvores da amostra ocorreu através de um método não-destrutivo. Neste método, medições de diâmetros ao longo do fuste das árvores foram realizados nas árvores em pé através do uso de técnicas e equipamentos de escalada. Até a altura limite de 8 m, a coleta de diâmetros foi feita com o uso de escada. Acima dos 8 m, a ascensão na árvore foi realizada com a técnica de blocante ao tronco, com o uso da cadeira e fita de ascensão.

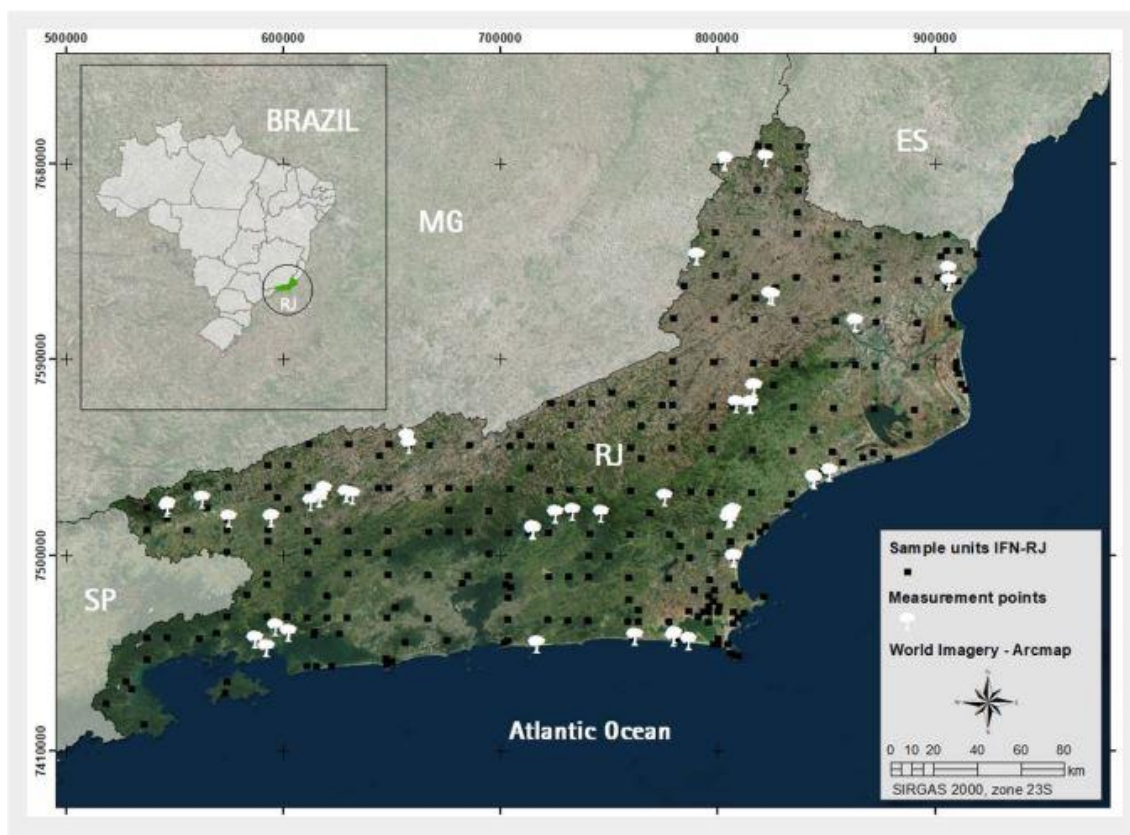


FIGURA 3 – MÉTODO NÃO-DESTRUTIVO DE CUBAGEM DE ÁRVORES EM PÉ, EM QUE: A = CUBAGEM DE FUSTE COM USO DE ESCADA, B = CUBAGEM DE FUSTE COM EQUIPAMENTOS DE ESCALADA (Fonte: CYSNEIROS et al., 2020).



Com base nas unidades amostrais alocadas pelo Inventário Florestal Nacional do estado do Rio de Janeiro (IFN-RJ), foram selecionados os fragmentos florestais para a realização da cubagem das árvores. Vale ressaltar que a espécie em questão não foi localizada em todos os pontos amostrais avaliados por Cysneiros et al. (2020) (FIGURA 4). Para a cubagem de cada árvore foi utilizado o método de Smalian, em que a soma do volume todas as seções correspondem ao volume do fuste ( $v_f$ ). Para isso, foram medidos, além do  $d$  (diâmetro a altura do peito (1,30 m do solo)), os diâmetros a 0,3, 0,5, 1,0 e 2,0 m de altura, bem como a cada um metro de altura a partir deste até a base da copa. A altura do fuste ( $h_f$ ) foi definida como a altura da última medição de diâmetro na base da copa, conforme Vibrans et al. (2015). A altura total ( $h_t$ ) de cada árvore foi medido com o uso do clinômetro de precisão ECII-R® (Haglöf, Suécia) (CYSNEIROS et al., 2020).

FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS UNIDADES AMOSTRAIS ALOCADAS PELO IFN-RJ E DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES CUBADAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO



## 3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

A ferramenta utilizada para a análise exploratória inicial, a modelagem dos dados, bem como para a avaliação dos modelos matemáticos, das diferentes metodologias de estimativa e a geração dos gráficos foi o *software* R *Studio*, o qual é um ambiente integrado de desenvolvimento para o *software* estatístico R (R Core Team, 2020). Todas as funções utilizadas no processamento dos dados estavam contidas em pacotes disponíveis na biblioteca do sistema, exceto uma, sendo disponibilizada a partir da instalação do pacote *car* (FOX e WEISBERG, 2019).

### 3.2.1 Análise exploratória dos dados

A análise estatística exploratória dos dados contemplou a geração de gráficos *box-plot*, a matriz de correlação de Pearson, e os diagramas de

dispersão, que representam a relação entre o volume observado da amostra e as variáveis independentes DAP (diâmetro à altura do peito mensurado a 1,3 m do solo), ht (altura total) e hf (altura do fuste), além da relação logarítmica entre volume individual e d. Segundo Capela e Capela (2011), o gráfico de *box-plot*, também conhecido como diagrama de caixa, é um gráfico estatístico que representa a distribuição de um conjunto de dados baseados em parâmetros descritivos. De uma forma geral, contempla a mediana, os 1º e 3º quartis, os valores mínimos e máximos e eventuais *outliers* e extremos. Este recurso permite avaliar a simetria dos dados, sua dispersão a existência ou não de *outliers*, sendo especialmente adequado para a comparação de dois ou mais conjunto de dados correspondentes às categorias de uma variável.

A matriz de correlação é, segundo Nasser Junior (2009), uma matriz bidimensional que correlaciona as diversas variáveis envolvidas entre si. Na matriz de correlação, as entradas na diagonal principal (aquelas que vão do canto esquerdo superior para o canto direito inferior) mostram a correlação de uma variável com ela mesma, o que é sempre 1, por definição, e as entradas fora da diagonal principal são as correlações entre pares de variáveis (GUJARATI e PORTER, 2011).

O diagrama de dispersão é uma medida de associação, sendo uma representação gráfica da relação entre duas variáveis que permite avaliar a direção da relação bem como a intensidade da mesma. Nestes diagramas, nuvens de pontos com maior concentração em torno de um mesmo ponto representam relações com intensidades fracas, enquanto nuvens com direções mais definidas representam relações com intensidades mais fortes (KOEHLER, 2012).

### 3.2.2 Metodologias para estimativa volumétrica

#### 3.2.2.1 Modelos avaliados

Segundo Gujarati e Porter (2011), a análise de regressão diz respeito ao estudo da dependência de uma variável dependente em relação a uma ou mais variáveis independentes, visando estimar e/ou prever o valor médio (da

população) da primeira em termos dos valores conhecidos em amostragens repetidas das segundas.

Foram avaliados três modelos volumétricos tradicionalmente utilizados nas ciências florestais, sendo um de simples entrada e dois de dupla entrada, apresentados na Tabela 1

TABELA 1 - MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DO FUSTE DE *Dalbergia nigra*.

Número	Autor	Modelo volumétrico	Variáveis de entrada
1	<i>Husch</i>	$\ln vf = \beta_0 + \beta_1 * \ln d + \epsilon_i$	Simple
2	<i>Spurr</i>	$vf = \beta_0 + \beta_1 * d^2 * ht + \epsilon_i$	Dupla
3	<i>Schumacher-Hall</i>	$\ln vf = \beta_0 + \beta_1 * \ln d + \beta_2 * \ln ht + \epsilon_i$	

Em que: vf = volume do fuste (m<sup>3</sup>); d = diâmetro à 1,3 m do solo (cm); ht = altura total (m); ln = logaritmo natural; e  $\epsilon_i$  = erro aleatório.

### 3.2.2.2 Critérios de avaliação e seleção dos modelos

A seleção do melhor modelo foi baseada no maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) e no menor erro padrão da estimativa em porcentagem ( $Sy_x\%$ ), bem como na análise gráfica dos resíduos e na verificação de sua distribuição normal. Segundo Hiramatsu (2008), o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) é utilizado para comparar equações com diferentes números de variáveis independentes, no qual se pondera o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) pelos graus de liberdade da regressão e pelos graus de liberdade totais. Este indicador deriva do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o qual indica a quantidade de variabilidade total da variável dependente que é explicada pela fórmula de regressão ajustada através de suas variáveis independentes.

O erro padrão da estimativa em porcentagem ( $Sy_x\%$ ) é uma transformação relativa do erro padrão da estimativa ( $Sy_x$ ), que indica a dispersão média entre os valores observados e estimados na equação de regressão ajustada, sendo maior a precisão do modelo de regressão quanto menor for o seu valor. Os critérios de seleção  $R^2_{aj.}$  e  $Sy_x\%$  foram recalculados para os modelos de Husch e de Schumacher-Hall, devido a estes apresentarem-se na forma logarítmica, havendo o ajuste da variável dependente a partir do fator de correção de Meyer (FCM), visando corrigir a discrepância logarítmica advinda da

aplicação de retransformação logarítmica da variável dependente à escala original. A análise gráfica, segundo Martins et al. (2016), permite verificar a existência ou não de homogeneidade na dispersão dos resíduos, identificando tendências nas estimativas.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{SQR}{SQT} \quad \text{Coeficiente de determinação (Eq. 1)}$$

$$R^2_{aj.} = 1 - \left[ (1 - R^2) \left( \frac{n-1}{n-p-1} \right) \right] \quad \text{Coeficiente de determinação ajustado (Eq. 2)}$$

$$Syx = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sqrt{(n-p)}} = \sqrt{\frac{SQResíduos}{(n-p)}} \quad \text{Erro padrão da estimativa (Eq. 3)}$$

$$Syx\% = \frac{Syx}{\bar{y}} 100 \quad \text{Erro padrão da estimativa em porcentagem (Eq. 4)}$$

$$FCM = e^{0,5(Syx)^2} \quad \text{Fator de correção de Meyer (Eq. 5)}$$

Em que:  $R^2$  = coeficiente de determinação múltiplo;  $R^2_{aj.}$  = coeficiente de determinação múltiplo ajustado;  $Syx$  = erro padrão da estimativa;  $Syx\%$  = erro padrão da estimativa em porcentagem;  $y_i$  = valor real observado;  $\hat{y}_i$  = valor estimado pelo modelo;  $n$  = número de observações;  $p$  = número de coeficientes do modelo;  $\bar{y}$  = média dos valores observados da variável dependente;  $SQRes$  = soma dos quadrados dos resíduos;  $SQR$  = soma dos quadrados da regressão;  $SQT$  = soma dos quadrados totais;  $FCM$  = Fator de correção de Meyer;  $e$  = Constante de Euler (2,718281828...).

Segundo Gujarati e Porter (2011), um teste de significância é um procedimento em que os resultados amostrais são usados para verificar a veracidade ou a falsidade de uma hipótese nula. Neste contexto, foram verificados através de testes estatísticos duas características da amostra: a normalidade dos resíduos, através do teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variâncias ou homocedasticidade, por meio do teste de Breusch-Pagan, ambos com nível de significância de 5%.

Para a normalidade dos resíduos, pressupondo que estes em cada ajuste seguem uma distribuição normal com média zero e variância constante  $\sigma^2$ , o

teste propôs aceitar ou rejeitar a hipótese nula de que a amostra possui distribuição normal. Para isso, foi obtida a estatística de Shapiro-Wilk (W) e comparada com um valor tabelado  $W_{n,\alpha}$ . Caso o valor obtido for menor que o tabelado, rejeita-se a hipótese de normalidade ao nível  $\alpha$  de significância. Foi utilizada a função `shapiro.test` para a realização do teste.

A verificação da premissa da homocedasticidade, visando validar os modelos ajustados, foi feita através da realização do teste de Breusch-Pagan. A função `ncvTest` do pacote `car` foi utilizada para este teste. A premissa da homocedasticidade enuncia que há uma distribuição uniforme das variâncias dos erros, também chamados de resíduos, no entorno da linha de regressão gerada (GUJARATI e PORTER, 2011). A hipótese nula neste caso é:

$$\text{var } u_i = \sigma^2 \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que: var = variância;  $u_i$  = erro;  $i$  =  $i$ -ésimo termo; e  $\sigma^2$  = variância constante

### 3.2.2.3 Aplicação de fatores de forma

Para a comparação com as estimativas geradas pelo melhor modelo volumétrico, foram obtidas as estimativas dos volumes de cada árvore da amostra através da aplicação do fator de forma médio das árvores da amostra e, também, por meio do fator de forma igual a 0,7. O fator de forma médio foi obtido pela média aritmética dos fatores de forma artificial de cada árvore da base de dados.

$$V_{cil_i} = \frac{\pi * d_i^2}{40,000} * hf_i \quad \text{Volume do cilindro por árvore (Eq. 7)}$$

$$ff_i = \frac{vf_i}{V_{cil_i}} \quad \text{Fator de forma artificial por árvore (Eq.8)}$$

$$vff_i = V_{cil_i} \frac{\sum_{i=1}^n ff}{n} \quad \text{Volume por meio do fator de forma médio por árvore (Eq. 9)}$$

$$vff_{0.7_i} = V_{cil_i} 0.7 \quad \text{Volume por meio do fator de forma igual a 0,7 por árvore (Eq.10)}$$

Em que:  $V_{cil}$  = Volume do cilindro com diâmetro de referência  $d$  e altura  $h_f$  ( $m^3$ );  $d$  = diâmetro a 1,3 m de altura (cm);  $\pi$  (pi) = 3,1416...;  $h_f$  = altura do fuste (m);  $ff$  = fator de forma artificial;  $v_f$  = volume do fuste observado ( $m^3$ );  $v_{ff}$  = volume por meio do fator de forma médio ( $m^3$ );  $n$  = número de observações;  $v_{ff0.7}$  = volume por meio do fator de forma igual a 0,7 e;  $i$  =  $i$ -ésimo termo.

### 3.2.3 Comparação entre as metodologias

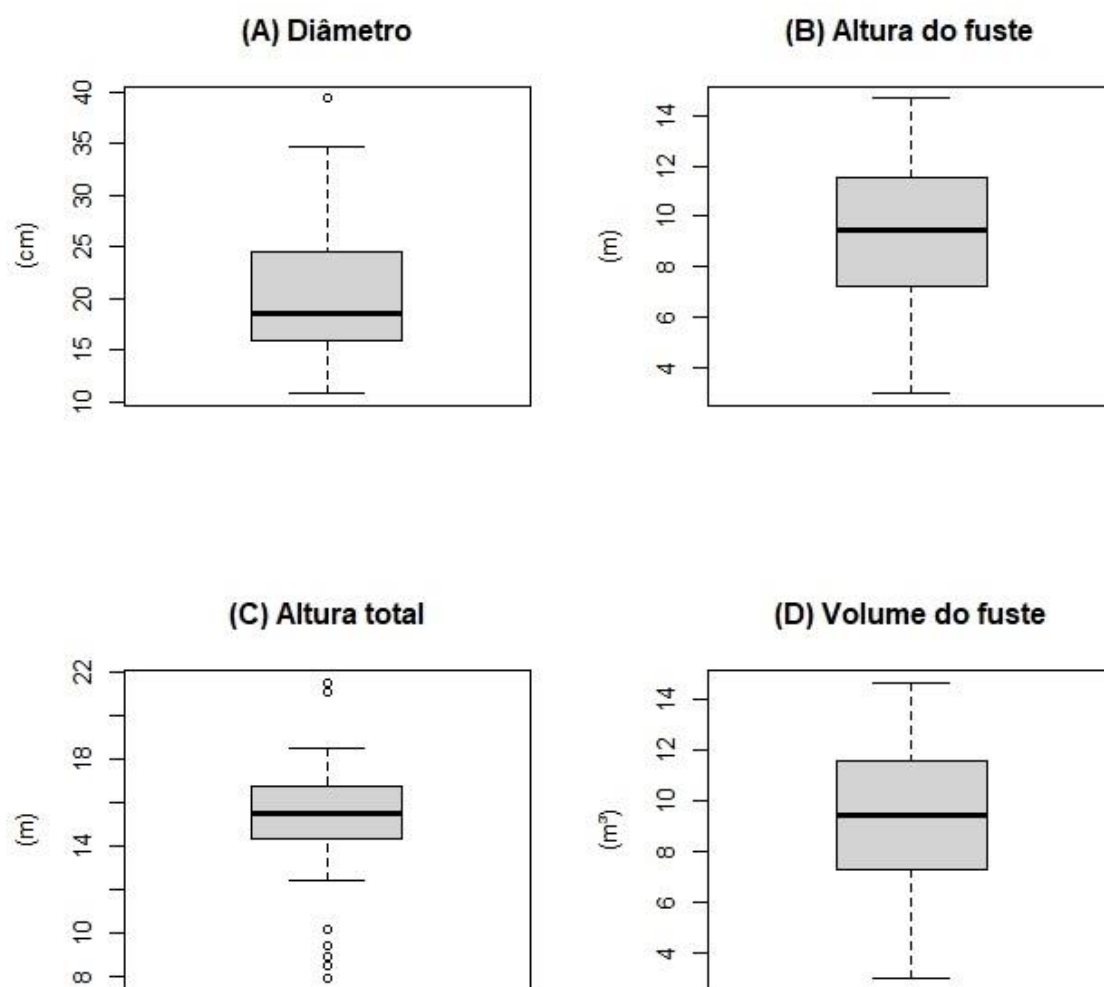
Para a comparação entre os volumes estimados pelas três metodologias em relação aos volumes observados, foi aplicado o teste estatístico não-paramétrico de Kruskal-Wallis (H). Este teste permite verificar a hipótese nula da igualdade das medianas dos volumes estimados pelos diferentes métodos e dos volumes observados ao nível de significância de 5% e, por consequência, de suas médias, pois, segundo Conover (1999) citado por Machado (2009), se uma população da qual foi obtida uma amostra tem distribuição simétrica, as conclusões sobre a mediana são também válidas para a média, permitindo identificar se as diferentes amostras representam uma mesma população.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

A partir dos gráficos *box-plot* gerados (Figura 1), percebe-se maior ocorrência de indivíduos com menores diâmetros (Figura 1 – A). Este gráfico representa de maneira alternativa o padrão de "J invertido" em gráficos de distribuição diamétrica, comportamento comum de espécies arbóreas em ambientes naturais. Esta característica pode ocorrer devido a regeneração natural contínua, bem como a possível ocorrência de perturbações passadas nos locais de coleta de dados, com a remoção dos indivíduos de maiores diâmetros (HESS et al., 2010; REIS et al., 2014).

FIGURA 5 - GRÁFICOS BOX-PLOT PARA AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES E PARA OS VOLUMES DE FUSTE DE *Dalbergia nigra*.





A presença de indivíduos com menores diâmetros pode também ser influenciada devido à competição que ocorre naturalmente nestes ecossistemas, a qual afeta a forma das árvores de maneira a limitar seu crescimento, especialmente em diâmetro (MIRANDA, 2016). Esta interpretação é proposta visto que a distribuição das alturas do fuste (Figura 1 – B) e volume do fuste (Figura 1 – D) ocorrem de maneira menos dispersa, com os indivíduos apresentando distribuições simétricas. Entretanto, por se tratar de uma amostra com indivíduos de idade desconhecida, a extrapolação desta interpretação deve ser utilizada com cautela. As alturas totais se apresentam simétricas em torno da mediana (Figura 1 – C), com exceção de alguns valores discrepantes.

A Tabela 2 apresenta os valores da correlação entre as variáveis independentes e o volume de fuste. Para a amostra, pode-se dizer que há baixa evidência de multicolinearidade, sendo as maiores correlações entre as variáveis independentes de 0,67 (ht x hf) e 0,66 (ht x DAP), as quais podem ser consideradas moderadas (SHIMAKURA, 2006). Com todas as correlações positivas, o volume do fuste é mais correlacionado com o DAP, com valor de 0,94. Esta é uma relação esperada entre as variáveis dendrométricas de indivíduos arbóreos, visto que o desenvolvimento volumétrico dos mesmos é dependente de um diâmetro proporcionalmente adequado para o desenvolvimento da copa (CUNHA, 2009). A baixa correlação na relação vf x hf mostra a pouca influência da altura do fuste no volume dos indivíduos, a qual é predominantemente influenciada pelo DAP.

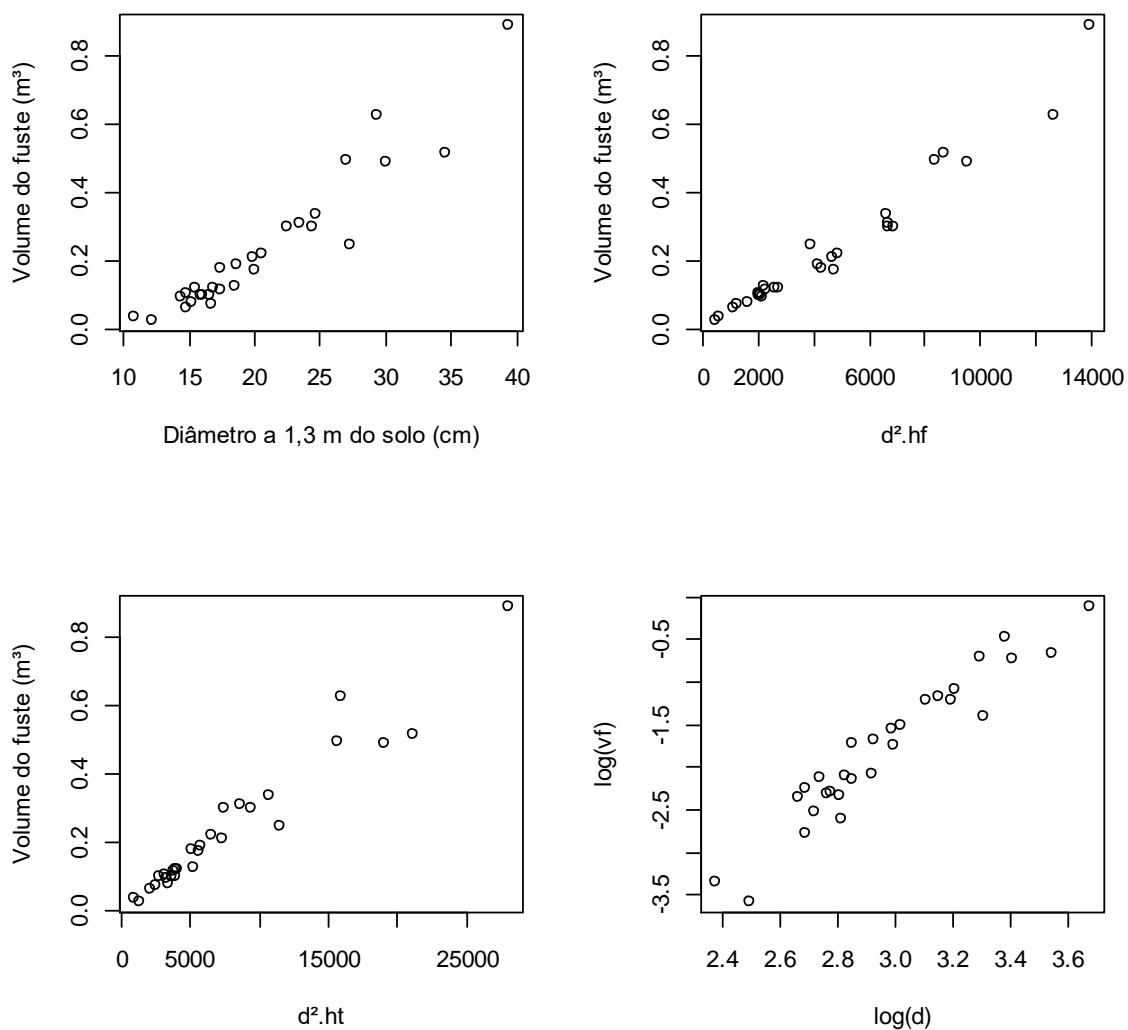
TABELA 2 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES E OS VOLUMES DE FUSTE DE *Dalbergia nigra*.

Variável	d	hf	ht	vf
d	1	0,316	0,664	0,950
hf	-	1	0,679	0,414
ht	-	-	1	0,676
vf	-	-	-	1

Conforme Figura 2, a dispersão dos volumes observados em relação ao DAP evidencia a leve tendência exponencial dos volumes, entretanto, para as variáveis combinadas, quadrado do diâmetro a 1,3 m ( $d^2$ ) com altura do fuste (hf) e altura total (ht), esta tendência se apresenta de forma pouco mais linear. Para

estas três relações, é possível perceber aumento da variabilidade em direção aos indivíduos de maiores dimensões. Na relação logarítmica  $\log(vf) \times \log(d)$ , percebe-se considerável dispersão em relação a reta, entretanto, com uma tendência linear entre as variáveis, sendo esta característica explicada pela capacidade da escala logarítmica em linearizar equações exponenciais, comparativamente a relação  $vf \times d$ .

FIGURA 6 - DIAGRAMAS DE DISPERSÃO RELACIONANDO AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COM OS VOLUMES DE FUSTE OBSERVADOS E A RELAÇÃO LOGARÍTMICA DO DIÂMETRO E DO VOLUME DO FUSTE DE *Dalbergia nigra*.



#### 4.2 SELEÇÃO DO MELHOR MODELO

Na Tabela 3 são exibidos os parâmetros e estatísticas dos modelos ajustados, sendo o Modelo 2 (Spurr) estatisticamente superior aos demais pelos

critérios de menor erro padrão da estimativa ( $Syx\%$ ) e maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2aj.$ ). Mesmo possuindo somente um coeficiente além do intercepto  $\beta_0$ , este modelo é de dupla entrada, assumindo, portanto, que a variabilidade do volume do fuste é explicada pelo  $d$  e pela altura total combinadas. Neste modelo, o qual possui a variável  $d$  elevada ao quadrado (componente que expressa a área transversal), fica clara a maior importância do diâmetro em explicar o volume do fuste, o que resulta em um melhor  $R^2aj.$ . Esta interpretação é fortalecida pelos resultados obtidos na Tabela 2, que demonstra que estas variáveis possuem as maiores intensidades de correlação com a variável independente volume do fuste, com valores de 0,95 e 0,67, respectivamente.

TABELA 3 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DO FUSTE DE *Dalbergia nigra*.

Modelo	Coeficientes estimados			Syx (%)	R <sup>2</sup> aj.	FCM
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$			
1	-9,4288	2,5737	-	32,71	0,856	1,030915
2	0,001	$3,05 \times 10^{-5}$	-	21,89	0,936	-
3	-10,3492	2,0227	0,955	22,48	0,932	1,014817

Apesar do desempenho estatístico do Modelo 2, após aplicação do teste de Shapiro-Wilk, somente para este modelo não foi observada a normalidade da distribuição dos resíduos. A partir da estatística  $W$ , foi obtido valor inferior ao valor  $W$  tabelado para  $n = 29$  e nível de significância de 5%, bem como o Modelo 2 apresentou o valor de  $p$  inferior a este valor limite de comparação, portanto, não significativa, sendo rejeitada a hipótese nula, conforme Tabela 4. Deste modo, o modelo de Schumacher-Hall foi o modelo volumétrico melhor classificado e selecionado para uso na comparação entre as metodologias.

TABELA 4 - RESULTADOS DO TESTE DE SHAPIRO-WILK APLICADO NOS MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DO FUSTE DE *Dalbergia nigra*.

Modelo	Estatística $W$	$W_{29;0,05}$	Valor- $p$	Decisão	Resultado
1	0,941		0,1076	Aceita $H_0$	Há normalidade
2	0,869	0,926	0,0019	Rejeita $H_0$	Não há normalidade
3	0,960		0,3288	Aceita $H_0$	Há normalidade

A verificação da presença da variância constante dos resíduos foi realizada através do teste de Breusch-Pagan. Neste teste, a hipótese nula proposta é de que há homocedasticidade, sendo aceita caso o valor Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) seja inferior ao valor crítico tabelado. Os resultados resumidos se encontram na Tabela 5.

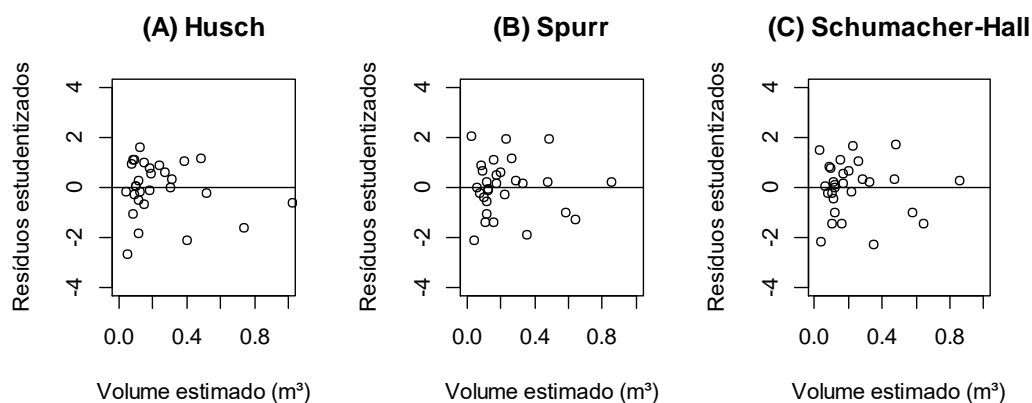
TABELA 5 - RESULTADOS DO TESTE DE BREUSCH-PAGAN APLICADO NOS MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DO FUSTE DE *Dalbergia nigra*.

Modelo	Qui-quadrado ( $\chi^2$ )	Valor crítico	Resultado
1	0,1422981	0,70601	Há homocedasticidade
2	0,0787606	0,77898	Há homocedasticidade
3	0,001563848	0,96846	Há homocedasticidade

O modelo 3 (Schumacher-Hall) apresentou o menor valor de  $\chi^2$ , sendo possível interpretar este modelo como o que possui a distribuição mais uniforme/concentrada dos resíduos, confirmado pela distribuição presente na Figura 3 - C. Para os três modelos, é possível afirmar que a variância dos erros não depende dos valores das variáveis independentes.

Através da análise gráfica dos resíduos (Figura 3), é possível reforçar os comportamentos levantado pela hipótese nula do teste de Breusch-Pagan, reiterando que, ao longo do aumento da variável estimada volume do fuste, os resíduos estudentizados apresentam distribuição uniforme e se encontram praticamente todos entre o intervalo de  $\pm 2$ .

FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DO FUSTE DE *Dalbergia nigra*.



Os volumes individuais estimados a partir do modelo de Schumacher-Hall se encontram no Apêndice B.

#### 4.3 FATORES DE FORMA 0,7 E MÉDIO

Os valores estimados de volume de fuste das árvores da amostra a partir da sequência de equações descritas no Item 3.2.3.3 se encontram no Apêndice B. O fator de forma médio obtido foi de 0,65, sendo inferior ao valor tradicionalmente usado de 0,7, gerando, portanto, estimativas para volume de fuste numericamente inferiores aos obtidos com o fator de forma igual a 0,7.

#### 4.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS

O teste de Kruskal-Wallis (H) indicou a aceitação da hipótese nula ( $H_0$ ) de que as medianas são iguais entre as metodologias avaliadas ao nível de significância  $\alpha = 0,05$  com GL = 3, obtendo valor-p superior a  $\alpha$  e valor H (Kruskal-Wallis Qui-quadrado ( $\chi^2$ )) inferior ao valor crítico tabelado para os parâmetros acima. A Tabela 6 resume os valores obtidos no teste, bem como a decisão e o resultado.

TABELA 6 - RESULTADOS DO TESTE DE KRUSKAL-WALLIS APLICADO PARA COMPARAÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS.

Valor H	Valor crítico	$\alpha$	Valor p	Decisão	Resultado
0,49919	7,815	0,05	0,9191	$p \geq \alpha$ ; Aceita $H_0$	Não existem diferenças significativas

Deste modo, pode-se entender de que ao nível de 5% de significância, há evidências estatísticas suficientes para aceitar a hipótese de que as medianas são semelhantes, sugerindo que os diferentes métodos estimam valores que representam uma mesma população, sendo as distribuições dos valores estimados de volume do fuste pelos diferentes métodos estatisticamente semelhantes entre si, bem como com os valores reais observados, a um nível de 95% de confiança.

#### 4.5 UTILIDADE NO ÂMBITO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Este trabalho contribui para o entendimento de que as ciências florestais brasileiras geram informação baseada em critérios técnicos que permite o uso dos recursos naturais do bioma Mata Atlântica, através do manejo florestal sustentável e do aproveitamento ótimo das áreas de Reserva Legal, por exemplo. Somado a outros trabalhos com temas afins, busca-se criar uma base de conhecimento sólida, a qual subsidiará os legisladores e formuladores de políticas públicas a complementarem e aprimorarem a legislação, criando condições favoráveis para que o uso racional dos recursos florestais permita transformar a realidade em benefício da sociedade.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Para a estimativa do volume do fuste da espécie *Dalbergia nigra* nas fitofisionomias florestais do Estado do Rio de Janeiro, o modelo de Schumacher-Hall foi o mais adequado. Apesar de o modelo de Spurr ter retornado melhores valores quanto aos critérios de seleção ( $R^2_{aj}$  e  $SyX\%$ ), este modelo não apresentou normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk.
- As três metodologias não apresentaram diferenças estatisticamente relevantes entre si, bem como comparativamente entre os volumes observados da amostra.
- Visando a praticidade das atividades de coleta de dados dendrométricos em campo, pode ser preconizada a utilização do fator de forma igual a 0,7 para a espécie *Dalbergia nigra* na área de estudo, sem resultar em alterações significativas nos resultados e não sendo necessária a obtenção das variáveis altura total nem realização da cubagem.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil?af=crossref](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref). Acesso em: 21 out. 2020.

AMARO, M. A. **Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual no município de Viçosa - MG**. 2010. 168 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/543/texto%20completo.pdf?sequence=1>. Acesso em: 28 jul. 2020.

BARRETO, W. F.; LEÃO, F. M.; MENEZES, M. C. de; SOUZA, D. V. Equação de volume para apoio ao manejo comunitário de empreendimento florestal em Anapu, Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 321-329, 30 dez. 2014. <http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.80.721>. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/721/388>. Acesso em: 28 jul. 2020.

BARROS, P. L. C. de; SILVA JÚNIOR, A. T. da. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, Oeste do estado do Pará, Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 51, n. 1, p. 115-126, jan. /jun. 2011. Disponível em: <http://200.129.150.26/index.php/ajaes/article/view/146/56>. Acesso em: 28 jul. 2020.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm). Acesso em: 13 out. 2020.

BERGER, G. D. C. **Modelos volumétricos para erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), na região Nordeste do estado do Rio Grande do Sul: uma análise através das técnicas de regressão**. 2007. 46 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1110/Berger\\_Gabriel\\_Dalla\\_Costa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1110/Berger_Gabriel_Dalla_Costa.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 27 jul. 2020.



CAPELA, M. V.; CAPELA, J. M. V. Elaboração de gráficos *Box-Plot* em planilhas de cálculo. In: CONGRESSO DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL DA REGIÃO SUDESTE, 1., Uberlândia, **Anais...** p. 361-364, 2011. Disponível em: < <http://arquivo.sbmac.org.br/cmaccs/cmaccs/2011/trabalhos/PDF/235.pdf>> Acesso em: 18 set. 2020.

CARVALHO, A. M. V. de. Os jacarandás da Bahia. **Agrotropica: Revista de Agricultura dos Trópicos Úmidos**, Ilhéus, v. 2, n. 1, p. 1-10, jan./abr. 1990. Quadrimestral. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/paginas/agrotropica/>. Acesso em: 25 jul. 2020.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 639 p. Disponível em: <https://www.cnpq.embrapa.br/pesquisa/efb/> Acesso em: 22 jul. 2020.

CARVALHO, S. de P. C. e; MENDONÇA, A. R. de; LIMA, M. P. de; CALEGARIO, N. Different strategies to estimate the commercial volume of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 399-406, jun./set. 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-77602010000300016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cerne/v16n3/a16v16n3.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2020.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. e. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região Noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 1, p. 97-104, mar. 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672009000100010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/aa/v39n1/a10v39n1.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2020.

CORREIA, J. **Modelos volumétricos para florestas secundárias do litoral de Santa Catarina**. 2015. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/135650/334965.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 jul. 2020.

CORREIA, J.; FANTINI, A.; PIAZZA, G. Equações volumétricas e fator de forma e de casca para florestas secundárias do litoral de Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, p. 1-12, out. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.023715>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/floram/v24/2179-8087-floram-2179-8087023715.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2020.

CRUZ, G. da S.; RIBEIRO, R. B. da S.; GAMA, J. R. V.; ALMEIDA, B. R. S. de; XIMENES, L. C.; GOMES, K. M. A.; BEZERRA, T. G. Ajuste e avaliação na

estimativa volumétrica para *Lecythis lurida* (Miers) S.A. Mori em uma área de manejo florestal. **Advances In Forestry Science**, Cuiabá, v. 6, n. 1, p. 549-554, 16 abr. 2019. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v6i1.7247>. Disponível em: <http://www.periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/7247/pdf>. Acesso em: 27 jul. 2020.

CUNHA, T. A. da. **Modelagem do incremento de árvores individuais de Cedrela odorata L. na floresta amazônica**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2009. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/ppgef/images/Diss2009/Thiago-Augusto-da-Cunha.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2020.

CYSNEIROS, V. C. **Estratégias para modelagem do volume comercial em florestas tropicais**. 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/45107/R%20-%20D%20-%20VINICIUS%20COSTA%20CYSNEIROS.pdf?sequence=1>. Acesso em: 27 jul. 2020.

CYSNEIROS, V. C.; PELISSARI, A. L.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SOUZA, L. de. Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial em uma floresta sob concessão na Amazônia. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 114, p. 295-304, 1 jul. 2017. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n114.06>. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr114/cap06.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2020.

CYSNEIROS, V. C.; GAUI, T. D.; SILVEIRA FILHO, T. B.; PELISSARI, A. L.; MACHADO, S. do A.; CARVALHO, D. C. de; MOURA, T. A.; AMORIM, H. B. Tree volume modeling for forest types in the Atlantic Forest: generic and specific models. **Iforest - Biogeosciences And Forestry**, Viterbo, v. 13, n. 5, p. 417-425, 16 set. 2020. <http://dx.doi.org/10.3832/ifor3495-013>. Disponível em: <https://iforest.sisef.org/abstract/?id=ifor3495-013>. Acesso em: 15 out. 2020.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Estudos de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida na Amazônia brasileira**. 1983. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26612/D%20-%20FIGUEIREDO%20FILHO%2c%20AFONSO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 jul. 2020.

FOX, J.; WEISBERG, S. **An {R} companion to applied regression**. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2019. Disponível em: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>. Acesso em: 31 out. 2020.

GALVÃO, A. P. M.; FERREIRA, C. A.; TEIXEIRA, L. B. Observações sobre o comportamento do Jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* Fr. Allem.) em povoamento puro na Amazônia. **IPEF**, n. 19, p. 47-59, dez. 1979. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr19/cap04.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2020.

GAMA, A. T. da; CABACINHA, C. D.; MEIRA, M. R.; LEITE, M. V. S. Estimativas Volumétricas y hipsométricas para el Barbatimão en el Norte de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 4, p. 483-493, 23 out. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.090314>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/floram/v22n4/2179-8087-floram-2179-8087090314.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2020.

GIMENEZ, B. O.; DANIELLI, F. E.; OLIVEIRA, C. K. A. de; SANTOS, J. dos; HIGUCHI, N. Equações volumétricas para espécies comerciais madeireiras do Sul do estado de Roraima. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 291-301, 2015. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr106/cap05.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2020

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. 2011. 924 p. Disponível em: <https://lemos.pro.br/wp-content/uploads/2019/12/Gujarati-Econometria-Básica-5a-1-1.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIYAK, T. C. R. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no Município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 337-345, 27 dez. 2010. <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.337>. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/143/151>. Acesso em: 03 nov. 2020.

HIGUCHI, N.; RAMM, W. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of central Amazon (Brazil). **Commonwealth Forestry Review**, v. 64, n. 1, p. 33-41, 1985. Disponível em: [https://www.jstor.org/stable/42608005?read-now=1&seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/42608005?read-now=1&seq=1#page_scan_tab_contents). Acesso em: 28 jul. 2020.

HIRAMATSU, N. A. **Equações de volume comercial para espécies nativas na região do Vale do Jari, Amazônia Oriental**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/30064/R%20-%20D%20-%20NELSON%20AKIRA%20HIRAMATSU.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 jul. 2020.

IMAÑA-ENCINAS, J.; SANTANA, O. A.; PAULA, J. E. de; IMAÑA, C. R. Equações de volume de madeira para o Cerrado de Planaltina de Goiás. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 107-116, 27 mar. 2009. <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v39i1.13731>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13731/9252>. Acesso em: 28 jul. 2020.

KOEHLER, H. S. **AS - 767 Estatística Descritiva**. Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/75775062-Prof-henrique-soares-koehler.html>. Acesso em: 20 nov. 2020.

LARA, G. P. de O.; FREITAS, A. F.; MIRANDA, R. de M.; CARDOSO, I. M.; CARVALHO, F.; MARQUEZ, D. P.; SIQUEIRA, L. F. de; MOREIRA, F. M. de S.; VENTURIN, N. Árvores de *Dalbergia nigra* podem ser consorciadas com pastagem sem prejuízo ao *Melinis minutiflora*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 9., 2015, Belém. **Anais...** Belém: Associação Brasileira de Agroecologia, 2015. v. 10. Disponível em: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/19651/13247>. Acesso em: 23 jul. 2020.

LEÃO, A. C.; VINHA, S. G. da. Ocorrência do Jacarandá no Sul da Bahia. **Cacau Atualidades**, Ilhéus, v. 12, n. 4, p. 22-29, nov. /dez. 1975. Disponível em: [http://www.ceplac.gov.br/paginas/publicacoes/paginas/cacau\\_atualidades/cartilhas/REV.%20C.%20ATUAL.%](http://www.ceplac.gov.br/paginas/publicacoes/paginas/cacau_atualidades/cartilhas/REV.%20C.%20ATUAL.%). Acesso em: 25 jul. 2020.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

MACHADO, S. do A.; MELLO, J. M. de; BARROS, D. A. de. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o Pinheiro do Paraná, na região Sul do Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 55-66, jan. 2000. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237591608\\_COMPARACAO\\_ENTRE\\_METODOS\\_PARA\\_AVALIACAO\\_DE\\_VOLUME\\_TOTAL\\_DE\\_MADEIRA\\_POR\\_UNIDADE\\_DE\\_AREA\\_PARA\\_O\\_PINHEIRO\\_DO\\_PARANA\\_NA\\_REGIAO\\_SUL\\_DO\\_BRASIL](https://www.researchgate.net/publication/237591608_COMPARACAO_ENTRE_METODOS_PARA_AVALIACAO_DE_VOLUME_TOTAL_DE_MADEIRA_POR_UNIDADE_DE_AREA_PARA_O_PINHEIRO_DO_PARANA_NA_REGIAO_SUL_DO_BRASIL). Acesso em: 27 jul. 2020.

MACHADO, S. do A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. da. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbaste. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 50, p. 81-98, 2005. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/242/193> Acesso em: 25 set. 2020.

MACHADO, A. L. da F. **Métodos usuais e propostos para expressar perfis dendrométricos e determinar volumes individuais**. 2009.189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/35973/R%20-%20T%20-%20ARTUR%20LOURIVAL%20DA%20FONSECA%20MACHADO.pdf?sequen ce=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 out. 2020.

MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. **Livro vermelho da flora do Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson, 2013. 1100 p. Disponível em: <http://dspace.jbrj.gov.br/jspui/handle/doc/26>. Acesso em: 22 jul. 2020.

MARTINS, A. P. M.; CARVALHO, D. E.; SCHMIDT, L. N.; GORENSTEIN, M. R.; CYSNEIROS, V. C. Eficiência de Métodos para Estimativa do Volume Total de *Corymbia citriodora*. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 2, p. 178-184, 30 jun. 2016. <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v15n2p178-184>. Disponível em: <http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/2013-02-07-03-03-11/1901-sap/v15n02/19742-eficiencia-de-metodos-para-estimativa-do-volume-total-de-corymbia-citriodora.html>. Acesso em: 25 set. 2020.

MATTOS, P. P. de; BRAZ, E. M.; BERNDT, E. J.; OLIVEIRA, Y. M. M. de. **Equação de volume para araucárias centenárias da Reserva Florestal Embrapa/Epagri**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 4 p. CT-256. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/24478/1/CT256.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2020.

RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. **Jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* Vellozo) Leguminosae-Papilionoidae: Produção de Mudas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 3 p. CT-106. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/35566/1/Com\\_tec106.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/35566/1/Com_tec106.pdf). Acesso em: 22 jul. 2020.

MIRANDA, D. L. C. de; PARO, B. A. V.; COSTA, G. R. Estimativa do volume em árvores de *Hymenaea coubaril* L. e *Trattinnickia burserifolia* Mart. no Norte de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 4, p. 119-123, 17 dez. 2014. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v02n04a06>. Disponível em:

<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1687/1555>. Acesso em: 28 jul. 2020.

MIRANDA, R. O. V. de. **Modelagem de árvores individuais para povoamentos não desbastados de *Pinus taeda* L.** 2016. 168 f. Tese (Doutorado) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/147517667.pdf#page=65>. Acesso em: 02 nov. 2020.

MOURA, J. B. de. **Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia brasileira.** 1994. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26623/D%20-%20MOURA%2c%20JOSE%20BRANDAO%20DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 jul. 2020.

NASSER JUNIOR, R. **Otimização das colunas de absorção da recuperação de acetona na produção de *Filter Tow* por meio de estudos fenomenológicos e análise estatística.** 2009. 223 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Química, São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-18122009-141222/pt-br.php>> Acesso em: 18 set. 2020.

OLIVEIRA, M. L. R. de. **Tabelas de volume de povoamento para fragmentos florestais nativos do município de Viçosa, Minas Gerais.** 2003. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9307/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 jul. 2020.

OLIVEIRA, R. C. A. de; RODE, R.; GAMA, J. R. V.; ALMEIDA, E. C. de. Equações volumétricas para *Couratari stellata* A.C Smith (Tauari) na Floresta Nacional do Tapajós. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 2, p. 138-144, mar./abr. 2017. <http://dx.doi.org/10.5935/2318-7670.v05n02a10>. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/4163>. Acesso em: 27 jul. 2020.

POKORNY, B.; PALHETA, C.; STEINBRENNER, M. **Custos de operações florestais: noções e conceitos.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 80 p. Documentos 373. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/912245/3/DOC373.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San Jose: Inter-American Institute For Cooperation On Agriculture - IICA, 1997. 561 p. (Investigacion y educacion en desarrollo sostenible).

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>

RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. **Jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* Vellozo) Leguminosae-Papilionoidae: Produção de Mudas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 3 p. CT-106. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/35566/1/Com\\_tec106.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/35566/1/Com_tec106.pdf). Acesso em: 22 jul. 2020.

RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. Caracterização morfológica da semente, Plântula e muda de Jacarandá-da-Bahia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 52, p. 141-150 jan. /jun. 2006. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/219/170>. Acesso em: 22 jul. 2020.

REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, J. N. M.; REIS, P. C. M. dos; CARVALHO, J. O. P. de; SOARES, M. H. M. Dinâmica da distribuição diamétrica de algumas espécies de Sapotaceae após exploração florestal na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 57, n. 3, p. 234-243, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.ao1401>. Disponível em: <http://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/1401/499>. Acesso em: 03 nov. 2020.

REZENDE, A. V.; VALE, A. T. do; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 71, n. 1, p. 65-76, ago. 2006. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr71/cap07.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2020.

RITTER, M. do N.; THEY, N. H.; KONZEN, E. **Introdução ao software estatístico R**. Imbé: Ceclimar, 2019. 110 p. Disponível em: [http://professor.ufrgs.br/sites/default/files/matiasritter/files/apostila\\_introducao\\_a\\_o\\_r\\_-\\_ritter\\_they\\_and\\_konzen.pdf](http://professor.ufrgs.br/sites/default/files/matiasritter/files/apostila_introducao_a_o_r_-_ritter_they_and_konzen.pdf). Acesso em: 28 set. 2020.

ROCHA, C. C. da C. **Estimativa de volume, biomassa e carbono da vegetação lenhosa de floresta estacional no estado de Goiás**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9345/1/2011\\_ClarineCorrêadaCostaRocha.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9345/1/2011_ClarineCorrêadaCostaRocha.pdf). Acesso em: 27 jul. 2020.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z. do; JESUS, R. M. de; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 107-114, mar. 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672006000100013>. Disponível em: <https://acta.inpa.gov.br/fasciculos/36-1/BODY/v36n1a13.html>. Acesso em: 28 jul. 2020.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 3. ed. Curitiba: Multi-Graphic, 2014. 406 p.

SCHEER, M. B.; BLUM, C. T. Arboreal diversity of the Atlantic Forest of Southern Brazil: from the beach ridge to the Parana river. In: GRILLO, O.; VENORA, G. (eds.) The dynamical processes of biodiversity - case studies of evolution and spatial distribution. **InTech**, Rijeka. p. 110-134. <http://dx.doi.org/10.5772/24129>. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/the-dynamical-processes-of-biodiversity-case-studies-of-evolution-and-spatial-distribution/arboreal-diversity-of-the-atlantic-forest-of-southern-brazil-from-the-beach-ridges-to-the-parana-riv>. Acesso em: 14 dez. 2020.

SCHIKOWSKI, A. B.; CORTE, A. P. D.; RUZA, M. S.; SANQUETTA, C. R.; MONTAÑO, R. A. N. R. Modeling of stem form and volume through machine learning. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3389-3401, dez. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201820170569>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/aabc/v90n4/0001-3765-aabc-201820170569.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2020.

SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; LIMA, C. S. de A. Obtenção de relações quantitativas para estimativa do volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 123-134, 1994. Disponível em: [http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/18311/Cerne\\_v1\\_n1\\_p123-134\\_1994.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/18311/Cerne_v1_n1_p123-134_1994.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 28 jul. 2020. SILVA, E. N. da; SANTANA, A. C. de. Modelos de regressão para estimação do volume de árvores comerciais, em florestas de Paragominas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 631-636, out. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0034->



737x201461050005. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/pdf/rceres/v61n5/05.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2020.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, M. S. P. de. Equações de volume para uma floresta secundária no planalto do Tapajós-Belterra, PA. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 8/9, p. 1-15, jun./ dez. 1984. Disponível em:  
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/5021/1/jnsilva.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2020.

SHIMAKURA, S. **Interpretação do coeficiente de correlação**. Curitiba: Departamento de Estatística - UFPR, 2006. Disponível em:  
<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>. Acesso em: 31 out. 2020.

SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE JUNIOR, H. U.; SILVA, G. F. da; FIGUEIREDO, L. T. M. de. Equações hipsométricas, volumétricas e de *taper* para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1039-1051, set./ out. 2011. Quadrimestral. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/pdf/rarv/v35n5/a10v35n5.pdf> Acesso em: 10 ago. 2020.

SOARES, C. P. B. **Mensuração florestal**: Sobre o R. 2017. Disponível em:  
<http://www.mensuracaoflorestal.com.br/sobre-o-r>. Acesso em: 19 ago. 2020.

SOUZA, A. L. de; JESUS, R. M. de. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na reserva florestal da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 257-273, set./dez. 1991. Disponível em:  
[https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=6nuaAAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA257&dq=modelos+volumétricos&ots=CVQBccHh0j&sig=qDJ55hLppupMkEGozUuXdxca7qA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=modelos%20volumétricos&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=6nuaAAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA257&dq=modelos+volumétricos&ots=CVQBccHh0j&sig=qDJ55hLppupMkEGozUuXdxca7qA&redir_esc=y#v=onepage&q=modelos%20volumétricos&f=false). Acesso em: 27 jul. 2020.

SOUZA, D. V.; OLIVEIRA, T. W. G. de; PIVA, L. R. de O.; SANTOS, J. X. dos; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D. **Introdução ao R**: aplicações florestais. Curitiba: Edição do Autor, 2018. 136 p.

IUCN - The International Union for Conservation of Nature (). **The IUCN red list of threatened species**: *Dalbergia nigra*. 1998. Disponível em:  
<https://www.iucnredlist.org/species/32985/86221269>. Acesso em: 23 jul. 2020.

THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P. de; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 283-289,

27 dez. 2010. <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.283>. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/155/142>. Acesso em: 28 jul. 2020.

TONINI, H.; BORGES, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 111-117, 30 jun. 2015. <http://dx.doi.org/10.4336/2015.pfb.35.82.738>. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/738/417>. Acesso em: 27 jul. 2020.

VIBRANS, A. C.; MOSER, P.; OLIVEIRA, L. Z.; MAÇANEIRO, J. P. de. Generic and specific stem volume models for three subtropical forest types in southern Brazil. **Annals of Forest Science**, Nancy, v. 72, n. 6, p. 865-874, 14 abr. 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s13595-015-0481-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13595-015-0481-x>. Acesso em: 21 out. 2020

VINHA, S. G. da; PEREIRA, R. C. Produção de folhede e sua sazonalidade em 10 espécies arbóreas nativas no Sul da Bahia. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v. 13, n. 4, p. 327-341, out. /dez. 1983. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/revista-theobroma/theobroma-1985v15n4.pdf/view>. Acesso em: 25 jul. 2020.

VINHA, S. G. da; CARVALHO, A. M. de; SILVA, L. A. M. Taxa de decomposição de folhede de dez espécies de árvores nativas no Sul da Bahia, Brasil. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v. 15, n. 4, p. 207-212, out./dez. 1985. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/revista-theobroma/theobroma-1985v15n4.pdf/view>. Acesso em: 25 jul. 2020.

ZEVIANI, W. M. **Uso da linguagem R para análise de dados de inventário florestal**. 2020. Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~walmes/talks/linguagem-r-para-inventario-florestal.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2020.

## APÊNDICE

### Apêndice A – SCRIPT

```

setwd("E:/Documents/Engenharia Florestal/TCC_2020/01 - TCC 2020 -
OFICIAL/R_DADOS")

dados <- read.csv2('dalbergianigra.csv')
View(dados)
str(dados)
# n = número da árvore, d = diâmetro (cm), hf = altura do fuste (m),
# ht = altura total (m), vf = volume do fuste (m³)

#### Análise exploratória dos dados ####

# Box-plots
{
  X11()
  par(mfrow = c(2,2))
  boxplot(dados$d, ylab = "(cm)", main = "(A) Diâmetro")
  boxplot(dados$hf, ylab = "(m)", main = "(B) Altura do fuste")
  boxplot(dados$ht, ylab = "(m)", main = "(C) Altura total")
  boxplot(dados$vf, ylab = "(m³)", main = "(D) Volume do fuste")
}

# Matriz de correlação
correlacao <- cor(dados, method = "pearson")
print(correlacao[-1,-1])

# Diagramas de dispersão
{
  x11()
  par(mfrow = c(2,2))
  plot(vf ~ d, data = dados, ylab = 'Volume do fuste (m³)', xlab = 'Diâmetro a 1,3
m do solo (cm)')
  plot(vf ~ I(d^2*hf), data = dados, ylab = 'Volume do fuste (m³)', xlab = d^2.hf')
  plot(vf ~ I(d^2*ht), data = dados, ylab = 'Volume do fuste (m³)', xlab = d^2.ht')
  plot(log(vf) ~ log(d), data = dados, ylab = 'log(vf)', xlab = 'log(d)')
}

#### Modelos volumétricos ####

# Modelo Husch
husch <- lm(log(vf) ~ log(d), data = dados)
summary(husch)

```

```

FChusch <- exp(0.5*(summary(husch)$sigma)^2) # Fator de correção
vhusch <- exp(fitted(husch))*FChusch      # Volumes estimados corrigidos
SQEhusch <- sum((dados$vf-vhusch)^2)     # Soma de Quadrados dos
Erros
SQT <- sum((dados$vf-mean(dados$vf))^2) # Soma de Quadrados Total

R2husch <- 1-(SQEhusch/SQT)              # Coeficiente de determinação
R2adjhusch <- 1-(SQEhusch/SQT)*
  ((dim(dados)[1]-1)/(dim(dados)[1]-length(coef(husch)))) # Coeficiente de
determinação ajustado

syxhusch <- sqrt(SQEhusch/(dim(dados)[1]-length(coef(husch)))) # Erro padrão
da estimativa
SyxPhusch <- (syxhusch/mean(dados$vf))*100          # Erro padrão da
estimativa em porcentagem

# Modelo Spurr
spurr <- lm(vf ~ l(d^2*ht), weights = 1/(l(d^2*ht))^2, data = dados)
summary(spurr)

SQEspurr <- sum((dados$vf-fitted(spurr))^2)         # Soma de Quadrados dos
Erros

R2spurr <- 1-(SQEspurr/SQT)                    # Coeficiente de determinação
R2adjspurr <- 1-(SQEspurr/SQT)*
  ((dim(dados)[1]-1)/(dim(dados)[1]-length(coef(spurr)))) # Coeficiente de
determinação ajustado

syxspurr <- sqrt(SQEspurr/(dim(dados)[1]-length(coef(spurr)))) #Recalcula o
Syx
SyxPspurr <- (syxspurr/mean(dados$vf))*100 #calcula o Syx em porcentagem
(Syx%)

# Modelo Schumacher-Hall
schum <- lm(log(vf) ~ log(d) + log(ht), data = dados)
summary(schum)
FCschum <- exp(0.5*(summary(schum)$sigma)^2) # Fator de correção
vschum <- exp(fitted(schum))*FCschum      # Volumes estimados corrigidos
SQEschum <- sum((dados$vf-vschum)^2)     # Soma de Quadrados dos
Erros

R2schum <- 1-(SQEschum/SQT)                  # Coeficiente de determinação
R2adjschum <- 1-(SQEschum/SQT)*
  ((dim(dados)[1]-1)/(dim(dados)[1]-length(coef(schum)))) # Coeficiente de
determinação ajustado

```

```

syxschum <- sqrt(SQEschum/(dim(dados)[1]-length(coef(schum))))
#Recalcula o Syx
SyxPschum <- (syxschum/mean(dados$vf))*100 #calcula o Syx em
porcentagem (Syx%)

# Resumo dos R2aj.:
print(R2adjhusch)
print(R2adjspurr)
print(R2schum)

# Resumo dos Syx%:
print(SyxPhusch)
print(SyxPspurr)
print(SyxPschum)

# Normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk:
shapiro.test(residuals(husch))
shapiro.test(residuals(spurr))
shapiro.test(residuals(schum))

# Homocedasticidade pelo teste de Breuch-Pagan:
library(car)
ncvTest(husch) # há homocedasticidade
ncvTest(spurr) # há homocedasticidade
ncvTest(schum) # há homocedasticidade

# Gráficos de resíduos
{
X11()
par(mfrow = c(1,3), cex = 1)
plot(rstudent(husch) ~ exp(fitted(husch)), data = dados, ylim = c(-4,4), xlim =
c(0,1), xlab = "Volume estimado (m3)", ylab = "Resíduos estudentizados", main
="(A) Husch")
abline(h = 0)
plot(rstudent(spurr) ~ fitted(spurr), data = dados, ylim = c(-4,4), xlim = c(0,1),
xlab = "Volume estimado (m3)", ylab = "Resíduos estudentizados", main = "(B)
Spurr")
abline(h = 0)
plot(rstudent(schum) ~ exp(fitted(schum)), data = dados, ylim = c(-4,4), xlim =
c(0,1), xlab = "Volume estimado (m3)", ylab = "Resíduos estudentizados", main
="(C) Schumacher-Hall")
abline(h = 0)
}

#### Fator de forma ####

## Calculando o volume do cilindro por árvore

```

```
dados$vcil <- (dados$d^2*pi/40000)*dados$hf

## Calculando o fator de forma artificial por árvore
dados$ff <- dados$vf/dados$vcil

## Estimando os volumes por meio do fator de forma médio
dados$vff <- (dados$d^2*pi/40000)*dados$hf*mean(dados$ff)

## Estimando os volumes por meio do fator de forma 0.7
dados$vff07 <- (dados$d^2*pi/40000)*dados$hf*0.7

#### Comparando os volumes estimados ####

## Teste de Kruskal-Wallis
kruskal.test(list(dados$vf, exp(fitted(schum)), dados$vff, dados$vff07))
```

Apêndice B – Dados coletados e volumes observados e estimados de *Dalbergia nigra*.

	n	d	hf	ht	vf	vcil	ff	vff	vff07	vschum
1	9	39,34	9	18,1	0,889	1,093959	0,812645	0,717802	0,765771	0,868582
2	38	12,13	3	8,5	0,0282	0,034668	0,813423	0,022748	0,024268	0,039062
3	61	17,35	7,4	12,4	0,1185	0,174953	0,677326	0,114795	0,122467	0,115555
4	92	20,53	11,55	15,5	0,2209	0,38234	0,577758	0,250873	0,267638	0,200992
5	99	14,71	5	9,4	0,063	0,084974	0,741405	0,055756	0,059482	0,063519
6	103	16,84	9,44	14,4	0,1235	0,210255	0,587382	0,137959	0,147178	0,125487
7	141	15,15	7	14,8	0,0814	0,126187	0,645076	0,082797	0,088331	0,104006
8	170	24,45	11,19	15,6	0,2991	0,525385	0,569297	0,344732	0,36777	0,287973
9	220	29,35	14,66	18,4	0,6294	0,991836	0,63458	0,650794	0,694286	0,487846
10	221	16,58	7,31	10,1	0,098	0,157825	0,62094	0,103557	0,110478	0,08666
11	222	19,89	11,71	18,5	0,2134	0,363845	0,586514	0,238737	0,254691	0,223224
12	223	26,99	11,45	21,5	0,4972	0,65509	0,758979	0,429838	0,458563	0,477774
13	228	17,35	14,19	16,7	0,1815	0,335484	0,54101	0,220128	0,234838	0,153556
14	230	24,7	10,79	17,5	0,3364	0,517017	0,650655	0,339241	0,361912	0,328063
15	231	15,44	10,77	16,5	0,1197	0,201651	0,5936	0,132313	0,141156	0,119898
16	232	18,62	11,96	16,4	0,189	0,325672	0,580339	0,21369	0,22797	0,174103
17	235	27,28	5,21	15,4	0,2478	0,30452	0,813739	0,199811	0,213164	0,354988
18	14	30,08	10,52	21,1	0,4883	0,747586	0,653169	0,490529	0,52331	0,584324
19	37	14,71	9,35	14,3	0,1059	0,158901	0,666452	0,104263	0,111231	0,094823
20	42	10,79	4,87	7,9	0,0353	0,044531	0,792708	0,029219	0,031172	0,028745
21	49	16,71	4,3	8,9	0,0739	0,0943	0,78367	0,061875	0,06601	0,078022
22	94	16,04	8,1	14,3	0,1027	0,163675	0,627461	0,107396	0,114573	0,112967
23	140	19,99	11,78	13,9	0,1745	0,36971	0,471992	0,242585	0,258797	0,171623
24	146	18,53	6,28	15,2	0,1247	0,169356	0,736319	0,111123	0,118549	0,160337
25	165	14,36	10,3	16	0,0955	0,166815	0,572489	0,109456	0,116771	0,100542
26	230	15,88	8,16	15,5	0,0997	0,161615	0,616899	0,106044	0,11313	0,119554
27	251	34,63	7,25	17,6	0,5164	0,682862	0,756229	0,44806	0,478003	0,653385
28	332	23,4	12,2	15,6	0,31	0,524664	0,590854	0,344259	0,367265	0,263507
29	333	22,41	13,62	14,9	0,2984	0,537218	0,555454	0,352496	0,376053	0,231088

Em que: n = numeração do indivíduo advinda da etapa de coleta nas unidades amostrais; d = diâmetro a 1,30 m de altura; hf = altura do fuste (m); ht = altura total (m); vf = volume do fuste (m<sup>3</sup>); vcil = volume do cilindro de altura hf e diâmetro d (m<sup>3</sup>); ff = fator de forma artificial; vff = volume estimado por meio do fator de forma médio (m<sup>3</sup>); vff07 = volume estimado por meio do fator de forma 0,7 (m<sup>3</sup>); vschum = volume estimado por meio do modelo volumétrico de Schumacher-Hall (m<sup>3</sup>).