



## ESTIMATIVA DA ALTURA DE *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. A PARTIR DE MODELOS HIPSONÔMETRICOS

Valdenia Medeiros de Araújo<sup>1</sup>, Antônio Adriano da Costa<sup>2</sup>, Lúcio Valério Coutinho de Araújo<sup>3</sup>, Natielly Cristine Gomes de Medeiros<sup>4</sup>, Francisco das Chagas Vieira Sales<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Patos – Paraíba – Brasil

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Patos – Paraíba – Brasil

<sup>3</sup> Professor da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Patos – Paraíba – Brasil

<sup>4</sup> Engenheira Florestal, mestrandia em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Vitória da Conquista – Bahia – Brasil

<sup>5</sup> Professor da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Patos – Paraíba – Brasil

Contato: valdenia.eng@gmail.com

Recebido em: 15/06/2023 – Aprovado em: 15/07/2023 – Publicado em: 30/07/2023

DOI: 10.18677/Agrarian\_Academy\_2023A4

### RESUMO

Este trabalho objetivou comparar sete diferentes tipos de modelos hipsométricos que melhor se ajustassem para estimação das alturas da espécie *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. Foram alocadas 33 parcelas de área fixa, resultando em 1.743 indivíduos amostrados, representando uma densidade de 1.320,5 ind.ha<sup>-1</sup>, os indivíduos foram distribuídos em 24 espécies, 22 gêneros e 14 famílias botânicas. A família Fabaceae representou 58,23 % dos indivíduos e entre as espécies de maior valor de importância encontra-se a *Mimosa tenuiflora*. A eficiência dos modelos foi avaliada por meio do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), erro padrão residual (Syx), erro percentual absoluto médio (EPAM), erro médio quadrático (EMQ) e análise gráfica dos resíduos. Conclui-se que entre os modelos testados, o maior valor de  $R^2 = 0,3078$  foi obtido pelo modelo 7, já o modelo 3 apresentou o menor ajuste para estimar a altura da espécie.

**PALAVRAS-CHAVE:** Altura; Biometria florestal; Diâmetro.

## ESTIMATING HEIGHT OF *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. FROM HYPSONETRIC MODELS

### ABSTRACT

This work aimed to compare seven different types of hypsometric models that best fit for estimating the heights of the species *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. 33 plots of fixed area were allocated, resulting in 1,743 sampled individuals, representing a density of 1,320.5 ind.ha<sup>-1</sup>, the individuals were distributed in 24 species, 22 genera and 14 botanical families. The Fabaceae family represented 58.23% of the individuals and among the species of greatest importance value is *Mimosa tenuiflora*. The efficiency of the models was evaluated by means of the adjusted coefficient of determination ( $R^2$ ), residual standard error (Syx), mean absolute percentage error (MAP), mean square error (QMS) and graphical analysis of the residues. It is concluded that among the models tested, the highest value of  $R^2 = 0.297774$  was obtained by model 7, while model 3 presented the lowest adjustment to estimate the height of the species.

**KEYWORDS:** Diameter; Forest Biometrics; Height.

### INTRODUÇÃO

O bioma Caatinga é um mosaico de florestas sazonalmente secas, amplamente distribuído na região nordeste do Brasil (DUTRA JÚNIOR *et al.*, 2022). Esse bioma é considerado um dos mais ameaçados do País (APGAUA *et al.*, 2015; ANTONGIOVANNI *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2023), visto que grande parte de sua superfície já foi fortemente modificada pela atividade e ocupação humana (MEDEIROS *et al.*, 2021), necessitando ainda de medidas efetivas para preservar a sua biodiversidade.

De acordo com Figueiredo *et al.* (2017), a *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. se comporta como uma espécie colonizadora nas áreas de caatinga, mesmo em sítios antropizados e Bakke *et al.*, (2006) enfatizam ainda que a mesma coloniza também áreas com deficiência hídrica. Explicitando a importância dessa espécie centra-se na sua abundância e frequência em áreas de caatinga nos diferentes estágios sucessionais, possivelmente por ser uma espécie xerófila de hábito arbustivo arbóreo e indicadora de estágios de sucessão secundária progressiva, sendo considerada uma espécie de recuperação de áreas degradadas, que comumente é disseminada de forma abundante pelas distintas fitofisionomias do bioma caatinga.

A realização de estudos fundamentais sobre as relações fitossociológicas entre as espécies colonizadoras de áreas que são intensamente perturbadas ao longo dos anos, são mecanismos essenciais a serem utilizados para orientar estratégias de reabilitação e recuperação das mesmas, como também viabilizar avaliações qualitativas e quantitativas de áreas que estejam em processo de recuperação (NAPPO *et al.*, 2020; ANDRADE *et al.*, 2022).

Apesar da existência de diversos trabalhos sobre o bioma Caatinga, ainda se tem muito a percorrer no que diz respeito a compreender e descrever sua vegetação. É necessário conhecer esse bioma como um todo, o que pode ser feito por meio de levantamentos quantitativos e qualitativos das espécies através do inventário florestal. Reforçado por Scolforo e Mello (2006), mencionando que o

inventário florestal se fundamenta nas teorias de amostragens para determinação ou estimação de atributos quantitativos ou qualitativos da floresta inventariada.

A análise quantitativa e qualitativa das espécies é fundamental, o que leva à busca por métodos eficazes para as estimativas (SOUZA *et al.*, 2016). Kohler *et al.*, (2022) afirmam que os inventários florestais são a base para o mapeamento, definição de estratégias, controle e gerenciamento do uso dos recursos florestais. Assim, a análise da distribuição das espécies em altura e diâmetro é uma grande ferramenta a ser utilizada para deduzir o passado e o futuro dos conjuntos vegetativos. Tencionando para produção de madeira, a estrutura diamétrica possibilita o levantamento do estoque antes da exploração (PULZ *et al.*, 1999).

Para quantificação da condição produtiva da vegetação, além das características qualitativas, faz-se a mensuração de variáveis dendrométricas como altura e diâmetro de cada indivíduo, possibilitando estimar a devida produção. A medição da altura de árvores equivale a um processo dispendioso que pode acabar inviabilizando o inventário florestal quando se propõe a medição de todas as árvores que compõem as unidades amostrais. Uma alternativa para reduzir tempo dispendido no trabalho e diminuição de custos com a medição da altura das árvores é o emprego de equações, comumente, geradas a partir do ajuste de modelos hipsométricos (MARTINS *et al.*, 2020; ANDRADE *et al.*, 2023).

Dentre os modelos matemáticos, há grande utilização de modelos hipsométricos, como visto em Andrade *et al.* (2015), Machado *et al.* (2019), Martins *et al.* (2019) e entre outros. Diante do exposto sobre a importância do bioma Caatinga e do conhecimento da altura das árvores, sendo importante ressaltar a grande heterogeneidade florística e estrutural, além da presença de indivíduos multicaules, o objetivo deste trabalho foi comparar modelos hipsométricos de melhor ajuste para a espécie *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.

## MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi conduzida na Fazenda Rio, localizada a 8km a Sudoeste do município de São José de Espinharas – PB, nas coordenadas geográficas 6°54'25.32" S; 37°17'45.74" e com área de aproximadamente 350 hectares.

Foram alocadas 33 parcelas de área fixa (20m X 20m), resultando em 1.743 indivíduos amostrados, representando uma densidade de 1.320 ind.ha<sup>-1</sup>, os indivíduos amostrados foram distribuídos em 24 espécies, 22 gêneros e 14 famílias botânicas. A família Fabaceae representou 58,23% dos indivíduos e dentre as espécies de maior valor de importância, a *Mimosa tenuiflora* representou 19,72% dos indivíduos amostrados.

Foram mensurados todos os indivíduos com circunferência a 1,3m do solo (CAP- circunferência à altura do peito) igual ou superior a 6 cm. As CAP foram obtidas com fita métrica graduada em centímetros e as alturas com régua retrátil graduada em centímetro, a partir das circunferências foram calculados os diâmetros (Equação 01) e posteriormente os diâmetros equivalentes dos indivíduos que apresentaram bifurcação, a partir da Equação 02.

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Equação 01

$$d_{eq} = \sqrt{\sum DAP^2}$$

Equação 02

Em que: = circunferência a altura do peito (1,3m do solo); = 3,1416; = diâmetro equivalente; = diâmetro a altura do peito (1,3m do solo).

O conjunto de pares de dados diâmetro-altura, foi dividido em dois grupos, um para o ajuste dos modelos com 232 indivíduos ( $\approx 67\%$ ) e outro para a validação/teste das equações ajustadas, com 116 indivíduos ( $\approx 33\%$ ). A estatística descritiva das variáveis dendrométricas está presente na Tabela 1, para o ajuste e validação das equações.

**TABELA 1 - Estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas utilizadas para ajuste e validação dos modelos hipsométricos.**

| Variáveis                      | Ajuste       |       | Validação |
|--------------------------------|--------------|-------|-----------|
|                                | Altura total |       |           |
| Mínimo                         | 2,00         | 1,80  | 2,07      |
| Máximo                         | 20,15        | 7,00  | 23,80     |
| Média                          | 7,33         | 3,978 | 7,895     |
| Desvio padrão                  | 3,844        | 1,068 | 4,850     |
| Coefficiente de variação (CV%) | 52,44        | 26,83 | 61,43     |

= Diâmetro a altura do peito (1,3m), equivalente.

Foram testados sete modelos para o ajuste e estimativa das alturas de *M. tenuiflora*, estão expressos na Tabela 2. Estes modelos foram citados por Schneider *et al.*, (2009). As equações foram ajustadas no programa *core team*, versão 4.3.0.

**TABELA 2 - Modelos hipsométricos testados em indivíduos de *M. tenuiflora*.**

| Ordem | Modelos                                                       | Denominação    |
|-------|---------------------------------------------------------------|----------------|
| 1     | $h_i = \beta_0 + \beta_1 d$                                   | Linear simples |
| 2     | $h_i = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$                     | Quadrática     |
| 3     | $h_i = \beta_0 * e^{\beta_1 d}$                               | Exponencial    |
| 4     | $h_i = \beta_0 + \beta_1 * \ln(d)$                            | Logarítmica    |
| 5     | $h_i = \beta_0 * d^{\beta_1}$                                 | Potência       |
| 6     | $h_i = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$                     | Hiperbólica    |
| 7     | $h_i = \frac{(d^2)}{h_i = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2}$ | Prodan         |

= Alturas individuais (m); = Diâmetro equivalente a 1,30 m do solo.

Para comparar e descrever o modelo de melhor ajuste aos dados utilizaram-se as estatísticas: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) (Equação 03), erro padrão residual (Equação 04), erro médio absoluto em porcentagem (EPAM) (Equação 05), erro médio quadrático (EMQ) (Equação 06) e gráfico de resíduo para os modelos, conforme Equação 07.

Coeficiente de determinação ajustado

$$R^2_{ajust.} = R^2 - \left[ \frac{k-1}{n-k} \right] \cdot (1 - R^2)$$

Equação 03

$$\text{Sendo: } R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \right]$$

Erro padrão residual

$$s_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-k}}$$

Equação 04

Erro médio absoluto em porcentagem – EPAM

$$\frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{e_i}{y_i} \right|$$

Equação 05

Erro médio quadrático – EMQ

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

Equação 06

Resíduo percentual

$$E\% = \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} \cdot 100$$

Equação 07

Em que: = coeficiente de determinação; = número de parâmetros do modelo; = número de observações; = erro de previsão; = alturas observadas (m); = alturas estimas pela equação; = número de coeficientes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizar os ajustes nos modelos, foi observado que os valores estatísticos foram relativamente baixos. Dentre os modelos avaliados, o modelo 7 (Prodan) apresentou melhor precisão para estimar as alturas da *M. tenuiflora*, com o valor de = 0,3078, seguido pelo modelo 4 (Logarítmica) com = 0,3068 e o menor resultado foi obtido com o modelo 3 (Exponencial), sendo = 0,2344. As estimativas realizadas com esses modelos estão apresentadas na Tabela 3.

**TABELA 3- Estatísticas de ajuste e validação dos modelos**

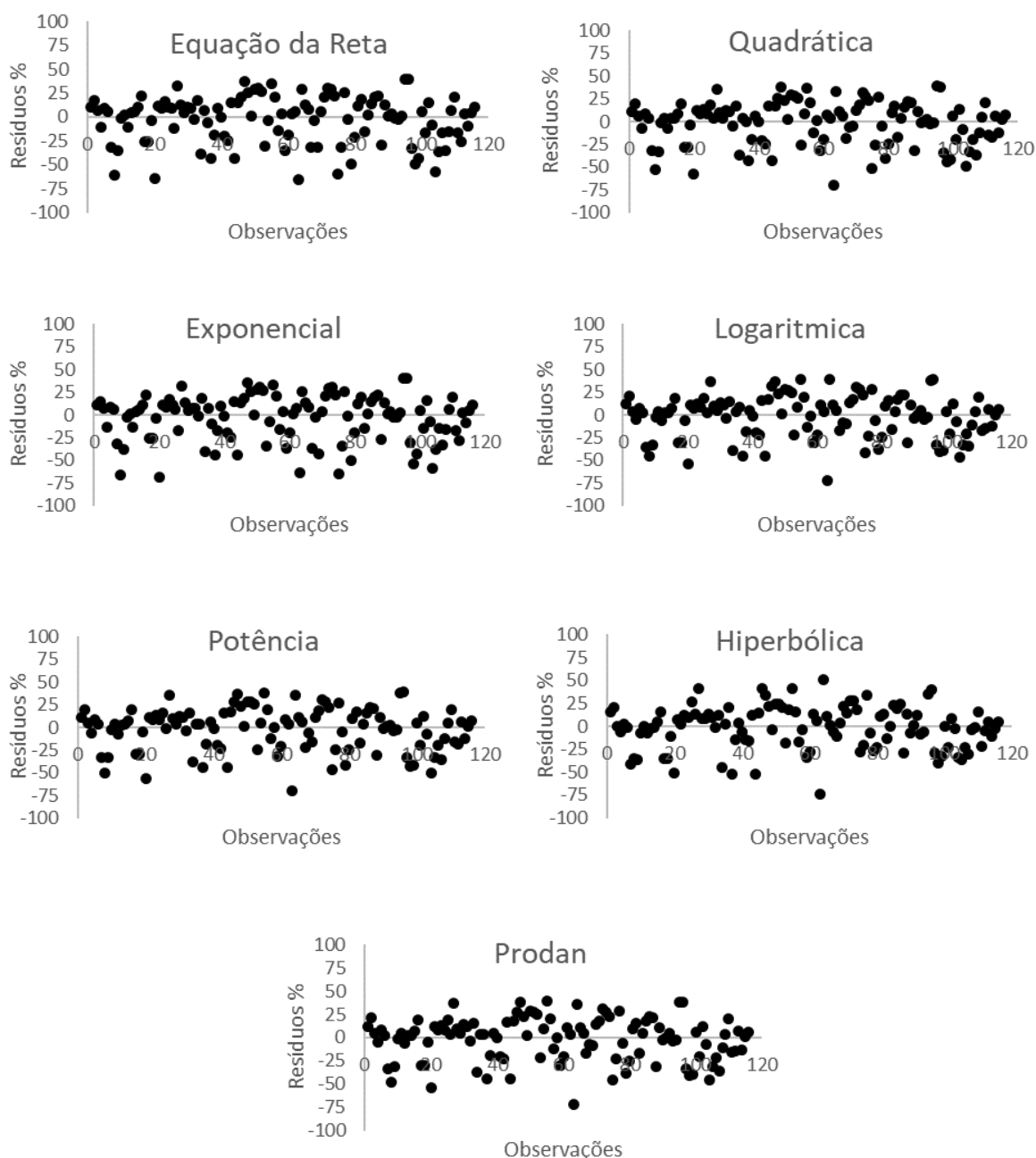
| Ordem | $\beta_0$ | $\beta_1$ | $\beta_2$ | $R^2_{ajust.}$ | $S_{yx}$ | EPAM   | EQM    | Ranking |
|-------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------|--------|--------|---------|
| 1     | 2,8146    | 0,1588    | -         | 0,2650         | 0,9721   | 19,346 | 0,9287 | 6       |
| 2     | 2,3988    | 0,2768    | -0,00656  | 0,2968         | 0,9508   | 18,531 | 0,8807 | 4       |
| 3     | 3,0283    | 0,0359    | -         | 0,2344         | 0,9922   | 19,758 | 0,9674 | 7       |
| 4     | 1,8126    | 1,1680    | -         | 0,3068         | 0,9441   | 18,306 | 0,8759 | 2       |
| 5     | 2,2728    | 0,2953    | -         | 0,3032         | 0,9465   | 18,508 | 0,8804 | 3       |
| 6     | 5,0577    | -5,9846   | -         | 0,2709         | 0,9862   | 18,196 | 0,9212 | 5       |
| 7     | -0,6612   | 0,7239    | 0,15527   | 0,3078         | 0,9434   | 18,297 | 0,8746 | 1       |

Os modelos testados apresentaram baixos valores do coeficiente de determinação, indicando que estimar as alturas das espécies da caatinga é um processo de baixa precisão, possivelmente devido à grande variabilidade na relação diâmetro/altura das espécies. Entretanto, recomenda-se ainda o uso de equações para estimativa, corroborando com Martins *et al.* (2020). Estes autores afirmam que

é necessário a adaptação de modelos hipsométricos para as espécies nativas, para assim, obter resultados mais precisos.

A dispersão dos resíduos demonstra a tendência de baixa precisão dos modelos testados, tendo comportamento similar, comprovando o que foi apresentado na Tabela 3. Desta maneira é possível observar a dispersão dos resíduos para cada modelo ajustado (Figura 1).

**FIGURA 1** – Gráficos de dispersão residual para cada modelo hipsométrico ajustado



A relação altura-diâmetro é afetada por muitas variáveis, como idade, espaçamento, sítio, tratamentos silviculturais, material genético, material de origem (ALVES *et al.*, 2017).

### CONCLUSÃO

O modelo hipsométrico que apresentou o melhor ajuste na estimativa de altura das árvores da espécie *Mimosa tenuiflora* foi o modelo de Prodan, que no geral demonstrou as melhores estimativas de previsão.

Os melhores ajustes apresentados pelos modelos de Prodan e logarítmica, sinalizam que podem ser utilizados para estimar a altura das árvores de *Mimosa tenuiflora*, e podem ser aplicados para estimar altura em outras populações desta espécie.

### REFERÊNCIAS

- ALVES, J. A.; CALEGARIO, N.; ROSADO, S. S.; SILVA, G. A.; POSSATO, E. L.; MELO, E. A. Equações hipsométricas para *Toona ciliata* com inclusão de covariantes. **Ciência Florestal**, 27(2), 581–595, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509827738>
- ANDRADE, V. C. L.; KROETZ, E. A.; NICOLA, A.; SOUZA, P. B.; NOHAMA, F. K. Amostragem e agrupamento de dados de relação hipsométrica em inventários florestais de Cerrado Tocantinense. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.83, p.228-238, 2015. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/683>
- ANDRADE, V. C. L.; SCHMITT, T.; CARVALHO, S. P. C.; BINOTTI, D. H. B.; CALEGARIO, N. Modelos regionais de relação hipsométrica avaliados para plantio clonal de eucalipto em área de Cerrado. **Ciência Florestal**, 33(2), 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509867995>
- ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; FONSECA, C. R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, v.33, n.20, p.1353-1367, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0672-6>
- APGAUA, D. M. G.; PEREIRA, D. G. S.; SANTOS, R. M.; MENINO, G. C. O.; PIRES, G. G.; et al.; Floristic variation within seasonally dry tropical forests of the Caatinga Biogeographic Domain, Brazil, and its conservation implications. **International Forestry Review**, v.17, n.2, p.33-44, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1505/14655481581583484>
- ANDRADE, R. L.; ROLIM, E. C. A.; TAVARES, J. L.; NASCIMENTO, J. W. F.; SOUSA, R. S.; et al.; Florística e fitossociologia de uma área de caatinga no município de Jardim de Piranhas - RN, Brasil. **Brazil. Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 9, p. 61159–61172, 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/51779>

BAKKE, I. A.; FREIRE, A. L. DE. O.; BAKKE, O. A.; BRUNO, R. L. A. Water and sodium chloride effects on *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret seed germination. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 3, p. 261-267, 2006. Disponível em: water and sodium chloride effects on mimosa tenuiflora (willd.) poiret seed germination – doaj

DUTRA JÚNIOR, M. P.; MARANGON, L. C.; GONÇALVES, M. P. M.; FELICIANO, A. L. P. Análise fitossociológica e de indicadores ecológicos em duas áreas de Caatinga com históricos diferentes de uso no Sertão Paraibano. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1439–1459, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509865774>

FIGUEIREDO, J. M.; ARAÚJO, J. M.; LÚCIO, A. M. F. N.; BAKKE, I. A.; BAKKE, O. A. Regeneração herbácea em áreas degradadas de caatinga enriquecidas com árvores nativas. **Ciência Florestal**. 27, 4 1143–1156, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509830292>

KOHLER, S. V.; FIGUEIREDO FILHO, A.; KOEHLER, H. S.; ARCE, RETSLAFF, F. A. S.; SERPE, E. L. Estratégias de agrupamento de dados para a modelagem hipsométrica e seus reflexos na estimativa de volume em plantios de *Pinus* spp. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n.3, p. 307-316, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509835017>

LIMA, R. B.; SANTOS NETO, J. C.; BRITO, A. C.; OLIVEIRA, C. P.; PAULA, A.; BARRETO-GARCIA, P. A. B. Quantificando distribuições de diâmetro em floresta tropical sazonalmente seca na Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 1, p. e2992, 2023. Disponível em: <http://agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v18i1a2992>. DOI: 10.5039/agraria.v18i1a2992.

MACHADO, I. E. S.; MEDEIROS, P. C. A. O.; CARVALHO, M. G. C.; PEREZ, C. A. M.; SANTANA, T. F. Modelos hipsométricos ajustados para um fragmento de cerrado *Sensu stricto* tocantinense. **Revista Agrogeoambiental**, v.11, n.1, p. 155-167, 2019. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1174>

MARTINS, M.; MARANGON, G.; COSTA, E.; PFEIFER, M.; LISBOA, G. Relação hipsométrica de três espécies da caatinga, semiárido pernambucano. **Agrarian Academy**, v.7, n.13, 2020. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/agrarian/article/view/4952>

MARTINS, M. T.; MARANGON, G. P.; COSTA, E. A.; PFEIFER, M. I.; SILVEIRA, B. D. Uso de diferentes técnicas para descrição da altura de um plantio monoespecífico de angico-vermelho. **Agrarian Academy**, v.6, n.11, p.340-352, 2019 Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2019A/uso%20de%20diferentes.pdf>



MEDEIROS, N. C. G.; SOUZA, S. M.; MONTEIRO, M. M.; AZEVEDO, L. K. S.; SALES, F. C. V.; Levantamento florístico e fitossociológico em remanescente florestal em Patos-PB. **Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 8, n. 1, 120-129, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/uftv8-9968>

NAPPO, M. E.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; MARTINS, S. V. A estrutura do sub-bosque de povoamentos homogêneos de *Mimosa scabrella* Benth, em área minerada, em Poços de Caldas, MG. **Ciência Florestal**, 10(2), 17–29, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/19805098467>

PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiana com a matriz de transição. **Revista Cerne**, Lavras, v. 3, n. 1, p.77-96, 1999. Disponível em: Artigo-1.PDF (ufla.br)

SCHENEIDER, P. R.; SCHENEIDER<sup>1</sup> P. S. P.; SOUZA, C. A. M.; Análise de regressão aplicada à engenharia florestal. Facos – UFSM, Santa Maria – RS. ISBN 978-85-89031-60-6, p. 149-151, 2009.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. Inventário Florestal. Lavras: UFLA / FAEPE, 2006, 561 p.

SOUZA, P. F.; SILVA, J. A.; LUCENA, D. S.; SANTOS, W. S.; HENRIQUE, ÍKALLO G. N.; LUCENA, M. F. A.; SOUZA, A. D. Estudos fitossociológicos e dendrométricos em um fragmento de caatinga, são José de espinharas – pb. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 26, n. 4, p. 1317–1329, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/25152>. DOI: 10.5902/1980509825152