



RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA ESPÉCIES DA CAATINGA, PATOS, PB

Natielly Cristine Gomes Medeiros¹, Eduarda Loise de Oliveira Figueiredo², Gerlanny Vieira de Moraes², Flávio Cipriano de Assis do Carmo², Alinne Freire e Cruz³, Cristiano Cardoso Gomes⁴, Francisco das Chagas Vieira Sales²

1 Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, Brasil. E-mail: natiellymedeiros7@gmail.com

2 Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, Brasil. E-mail: eduardaloise8@gmail.com; gerlanny.vieira@estudante.ufcg.edu.br; flavio.carmo@ufcg.edu.br; franciscoef@yahoo.com.br

3 Fundação para o Desenvolvimento Sustentável do Araripe, Crato, CE, Brasil. E-mail: alinnfec@gmail.com

4 Sociedade Anônima de Águas e Esgoto do Crato (SAEC), Crato, CE, Brasil. E-mail: cristiano@agrisustentavel.com
Autora correspondente: Natielly Cristine Gomes Medeiros. E-mail: natiellymedeiros7@gmail.com.

RESUMO

O objetivo desse estudo foi testar quatro modelos matemáticos para estimativas de altura. Os dados foram coletados na Fazenda NUPEÁRIDO na cidade de Patos, PB. Foi realizado o levantamento do componente arbóreo por meio da amostragem por parcelas fixas de 400 m². Foram testados quatro modelos hipsométricos lineares usando o método de mínimos quadrados ordinários. Para comparar e descrever o modelo de melhor ajuste aos dados, utilizou-se as estatísticas mais frequentes, como: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão residual, gráfico de resíduo para os modelos e para validação das equações, fez-se o uso de estatísticas inerentes ao erro. Foram amostrados 785 indivíduos, dos quais 521 aleatórios foram utilizados para os ajustes dos modelos e 264 indivíduos utilizados na validação desses modelos. Os modelos apresentaram coeficientes de determinação variando entre 0,32 e 0,38, já o erro padrão da estimativa variou de 0,71 a 0,75. Dentre os quatro modelos hipsométricos testados para área de floresta nativa da Caatinga, o que melhor se ajustou foi o modelo logarítmico, pois apresentou maior coeficiente de determinação e menor erro padrão da estimativa, no entanto deve ser utilizado com parcimônia.

Palavras-chave: Altura; diâmetro; equações hipsométricas.

HYPSONETRIC RELATIONS FOR CAATINGA SPECIES, PATOS, PB, BRAZIL

ABSTRACT

The aim of this study was to test four mathematical models for height estimates. Data were collected at the NUPEÁRIDO Farm, in the city of Patos, PB. The tree component was surveyed by sampling by fixed 400 m² plots. Four linear hypsonetric models were tested using the ordinary least squares method. To compare and describe the model of best fit to the data, the most frequent statistics were used, such as: adjusted coefficient of determination, residual standard error, residue graph for the models and for validation were used statistics inherent to the error. Were sampled, totaling 785 individuals, of which 521 were randomized and used for the adjustments of the models and 264 individuals used in the validation of these models. The models presented determination coefficients ranging from 0.32 to 0.38, while the standard error of the estimate ranged from 0.71 to 0.75. Among the four hypsonetric models tested for the native forest area of the Caatinga, the one that best fit was the logarithmic model, as it presented the highest coefficient of determination and the lowest standard error of the estimate, however, it should be used sparingly.

Key words: Height; diameter; hypsonetric equations.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

A Caatinga é o único bioma estritamente brasileiro e está presente em sua maior parte na região semiárida do País (Rogério *et al.*, 2020). Caracteriza-se principalmente por sua vegetação ser de porte arbóreo-arbustivo com ramificações e com presença de espinhos e/ou acúleos, além do seu estrato herbáceo ser composto por espécies anuais, além de bromélias e cactos (Fernandes & Queiroz, 2018). O bioma contém grande biodiversidade, sendo considerado o semiárido mais biodiverso do mundo (Scaramuzza, 2016; Seyffarth & Rodrigues, 2017).

Desta maneira, a fim de estimar a capacidade produtiva da vegetação da Caatinga se recorre aos processos amostrais, predominantes nos inventários florestais. No levantamento dos dados dendrométricos, a altura é uma variável de grande interesse e importância, sendo imprescindível para estimar o potencial produtivo em volume de madeira da área. Independentemente da importância da coleta das alturas das árvores em campo, sabe-se que muitas vezes, é inviável tal atividade especialmente em florestas nativas, devido à demanda de tempo e custo, por esse motivo torna-se necessário a adoção de metodologias ou estratégias que minimizem os custos (Martins *et al.*, 2020).

Dentre as principais metodologias utilizadas no meio florestal, visando minimizar os custos de medições de altura de todas as árvores de uma amostra, busca-se estimar parte dessas alturas, fazendo uso de equações matemáticas ajustadas – relações hipsométricas (Oliveira *et al.*, 2021). A relação hipsométrica é baseada na relação entre altura e diâmetro da árvore num mesmo fragmento florestal, havendo sempre uma variação na curva ajustada devido as características do próprio ambiente (Silva *et al.*, 2013). Deste modo, o objetivo deste estudo foi testar quatro modelos matemáticos para estimativas da altura de espécies presentes em uma área de caatinga antropizada.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os dados utilizados foram coletados na Fazenda NUPEÁRIDO (Núcleo de Pesquisas do Semiárido) localizada na cidade de Patos – PB nas coordenadas geográficas 07°05'10" Sul e 37°15'43" Oeste. A região apresenta clima do tipo BSh – semiárido, apresentando duas estações bem definidas, com período chuvoso concentrado em poucos meses (Alvares *et al.*, 2013).

Coleta e processamento dos dados

Foi realizado o levantamento do componente arbóreo da área, onde foi aplicado amostragem por parcelas fixas, com 15 unidades amostrais de 400 m². Foram registrados o nome comum e medidas a circunferência a 1,30 m do solo (C), de todos os indivíduos arbóreos vivos e/ou mortos, mas ainda em pé, com nível de inclusão mínimo de seis centímetros ($C \geq 6$ cm), foi feito também a mensuração da altura total (H) dos indivíduos. As medições seguiram o recomendado no

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Protocolo de Medições de Parcelas Permanentes da Rede de Manejo Florestal da Caatinga (RMFC, 2005).

Todas as circunferências foram convertidas de diâmetros e estes em diâmetro equivalente por indivíduo, quando apresentaram bifurcação, obtendo-se assim o conjunto de dados (D, H) para ajustes dos modelos. Foram testados quatro modelos hipsométricos lineares empregando o método de mínimos quadrados ordinários. Para comparar e descrever o melhor ajuste aos dados, utilizou-se as estatísticas mais frequentes, como: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão residual, gráfico de resíduo para os modelos e para validação da capacidade preditiva, fez-se o uso de estatísticas inerentes ao erro, como: erro quadrático médio (MSE) e erro médio absoluto em porcentagem (EPAM). Os modelos e as estatísticas de avaliação estão expressas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Todos os modelos foram ajustados no software Gretl versão 2022c.

Tabela 1. Modelos testados para o conjunto de dados

Número	Modelo	Denominação
1	$H_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \varepsilon_i$	Reta
2	$H_i = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D_i^2 + \varepsilon_i$	Parabólico
3	$H_i = \beta_0 + \beta_1 (1/D_i) + \varepsilon_i$	Hiperbólica
4	$H_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(D_i) + \varepsilon_i$	Logarítmica

Em que: H_i = Alturas total da i-ésima árvore (m); D_i = Diâmetro equivalente a 1,30 m do solo da i-ésima árvore (cm); ε_i = erro aleatório

Tabela 2. Critérios para recomendação do modelo

Critério	Equação	Estágio
Coeficiente de determinação ajustado	$R_{ajust.}^2 = R^2 - \left[\frac{k-1}{n-k} \right] \cdot (1 - R^2)$	Ajuste
Erro padrão residual	$s_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - k}}$	Ajuste
Erro quadrático médio – EM	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2$	Validação
Erro percentual absoluto médio – EPAM	$\frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{e_i}{y_i} \right $	Validação

Em que: R^2 = coeficiente de determinação; k = número de parâmetros do modelo; n = número de observações; e = erro de previsão; y_i = alturas observadas (m); \hat{y}_i = alturas estimas pela equação; p = número de coeficientes

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No inventário florestal realizado foi possível identificar as espécies presentes na área (Tabela 3) a partir das 15 parcelas amostradas, totalizando 785 indivíduos, dos quais 521 aleatórios foram utilizados para os ajustes dos modelos e 264 indivíduos utilizados na validação desses modelos.

Com relação a estatística descritiva, verifica-se a amplitude dos dados utilizados para ajuste e validação na Tabela 4. Tem-se que a altura mínima identificada foi de 1,50 m e a máxima de 8,00 m, já o menor D encontrado foi de 1,91 cm e o maior de 26,53 cm.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Tabela 3. Listagem florística das espécies da Fazenda NUPEÁRIDO, município de Patos, PB

Família	Nome Científico	Nome comum
Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i> (M. Allemão) Engl.	Aroeira
Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	Pereiro
Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J. Presl	Feijão Bravo
Burseraceae	<i>Commiphora leptophloes</i> (Mart.) J.B.Gillett	Umburana de Cambão
Combretaceae	<i>Combretum duarteanum</i> Cambess.	Mofumbo
	<i>Cnidocolus quercifolius</i> Pohl	Faveleira
Euphorbiaceae	<i>Croton jacobinensis</i> Baill.	Marmeleiro
	<i>Jatropha molissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão Bravo
	<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul	Angico de Caroço
	<i>Cenostigma pyramidale</i> (Tul.) Gagnon & G.P. Lewis	Catingueira
Fabaceae	<i>Piptadenia retusa</i> (Jacq.) P.G Ribeiro, Seigler & Ebinger	Jurema Branca
	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema Preta
	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	Mororó
	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Jucá

Tabela 4. Estatística descritiva dos dados de diâmetro a 1,30 m do solo (D, cm) e altura total (H, m)

Estatística	Todos os Dados		Ajuste		Validação	
	D	H	D	H	D	H
Média	7,05	3,36	6,95	3,36	7,20	3,35
Mediana	6,20	3,20	6,15	3,20	6,32	3,20
Mínimo	1,91	1,50	1,91	1,50	1,91	1,80
Máximo	26,53	8,00	26,53	8,00	26,10	5,70
Desvio Padrão	3,99	0,87	3,82	0,85	4,29	0,91
CV%	56,67	25,91	54,96	25,22	59,49	27,21

Os ajustes das equações propostas estão apresentados na Tabela 5, percebe-se que os modelos apresentaram coeficientes de determinação variando entre 0,32 e 0,38, sendo o menor valor atribuído ao modelo 3 e o maior valor ao modelo 4, já o erro padrão da estimativa variou de 0,71 a 0,75, sendo o menor valor observado para o modelo 4 e o maior valor para o modelo 3. Quanto ao erro quadrático médio e ao erro percentual absoluto médio, seguiram a mesma tendência onde os menores valores foram obtidos pelo modelo 4 e os maiores pelo modelo 3, respectivamente.

Tabela 5. Coeficientes e estatísticas para as equações ajustadas

Modelo	b_0	b_1	b_2	$R^2_{ajust.}$	s_{yx}	EM	EPAM
1	2,46483	0,128836	-	0,3787	0,7183	0,5159	19,40
2	2,43135	0,13787	-0,0004662	0,3823	0,7176	0,5149	19,39
3	4,12976	-4,04476	-	0,3213	0,7507	0,5636	19,65
4	1,75172	0,893798	-	0,3857	0,7142	0,5101	18,85

Em que: b_0 , b_1 e b_2 = estimativas dos parâmetros β_0 , β_1 e β_2 ; $R^2_{ajust.}$ = coeficiente de determinação ajustado; s_{yx} = erro padrão residual; EM = erro quadrático médio; EPAM = erro percentual absoluto médio

Baseado nas estatísticas descritas (Tabela 5) e amparados pelo gráfico de distribuição dos resíduos (Figura 1 – Equações de 1 a 4), recomenda-se então a equação 4 (logarítmica), visto que apresentou melhor ajuste para as estimativas das alturas de espécies da Caatinga. Esta recomendação é semelhante ao estudo desenvolvido por Martins *et al.* (2020) em área de Caatinga que constataram que o melhor ajuste foi através da aplicação do modelo logarítmico.

CONCLUSÃO

Dentre os quatro modelos hipsométricos testados para área de floresta nativa da Caatinga, o que melhor se ajustou foi o modelo logarítmico, pois apresentou maior coeficiente de determinação e menor erro padrão da estimativa, no entanto deve ser utilizado com parcimônia.

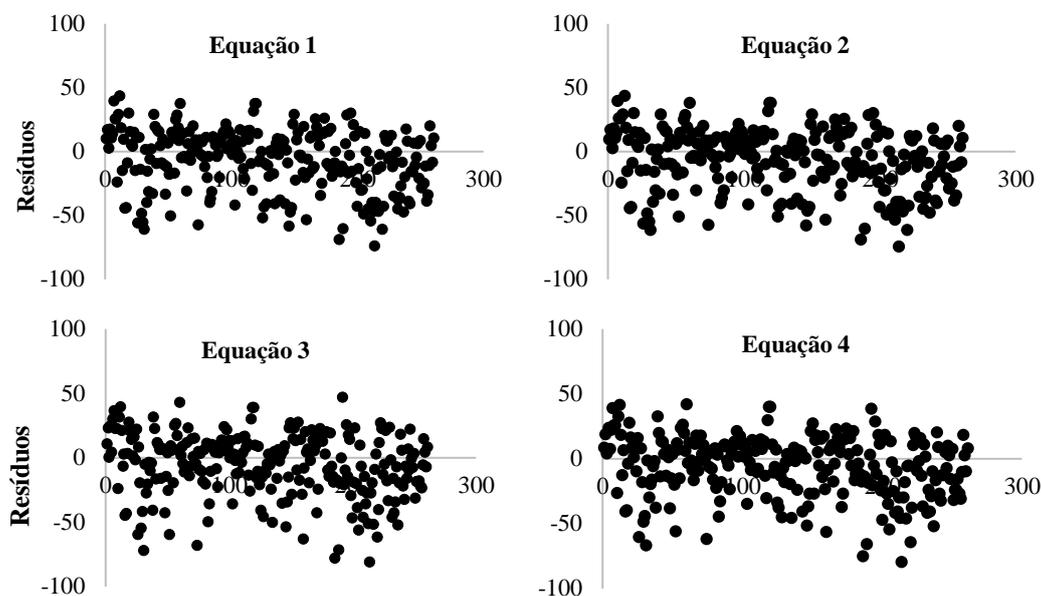


Figura 1. Distribuição dos resíduos para as equações ajustadas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Fernandes, M. F.; Queiroz, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. *Ciência e Cultura*, v. 70, n. 4, 2018. <https://doi.org/10.21800/2317-66602018000400014>.
- Martins, M. T.; Marangon, G. P.; Costa, E. A.; Pfeifer, M. I.; Lisboa, G. S. Relação hipsométrica de três espécies da Caatinga, semiárido pernambucano. *Agrarian Academy*, v. 7, n. 13, p. 45-55, 2020. Disponível em <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/agrarian/article/view/4952>. Acesso em: 15 Abr. 2023.
- Oliveira, D. S.; Santos, M. A.; Cordeiro, L. M.; Penido, T. M. A.; Vieira, D. S.; Lafetá, B. O. Modelos hipsométricos para mudas de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. (Apocynaceae) e *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae). *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p.19247-19266, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/25216/20107>. Acesso em: 06 Abr. 2023.
- Rede de Manejo Florestal da Caatinga - RMFC. **Protocolo de medições de parcelas permanentes**. Recife. Associação de Plantas do Nordeste; Brasília: MMA; PNF; PNE, 2005. 28p.
- Rogério, M. C. P.; Fernandes, F. E. P.; Pompeu, R. C. F. F.; Guedes, F. L.; Alves, A. A.; Carvalho, W. F.; Oliveira, D. S.; Araújo, A. R.; Memória, H. Q. **Potencial forrageiro da vegetação nativa da Caatinga para o pastejo de ovinos**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2020. 46p. (Embrapa Caprinos e Ovinos. Documentos, 139). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128277/1/CNPC-2020-Art.37.pdf>. Acesso em: 10 Abr. 2023.
- Scaramuzza, C. A. M. (Coord.). **Relatório Nacional para a Convenção sobre diversidade biológica**. Brasília: MMA, 2016. 244p. (MMA. Série Biodiversidade, 50). Disponível em: <http://antigo.mma.gov.br/publicacoes/biodiversidade/category/142-serie-biodiversidade.html?download=1212:relat%C3%B3rio-nacional-para-a-conven%C3%A7%C3%A3o-sobre-diversidade-biol%C3%B3gica>. Acesso em: 04 abr. 2023.
- Seyffarth, J. A. S.; Rodrigues, V. Impactos da seca sobre a biodiversidade da Caatinga. **Parcerias Estratégicas**, v.22, n.44, p.41-62, 2017. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/845. Acesso em: 15 Abr. 2023.
- Silva, R. C. S.; Dalla Lana, M.; Alves Júnior, F. T.; Lima, R. B.; Silva, N. L.; Silva, J. A. A.; Ferreira, R. L. C. Relações hipsométricas para *Anadenanthera colubrina* var. cebil (Griseb.) Altschul. em vegetação de Caatinga. In: Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão (JEPEX 2013), 13., 2013, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2013. Disponível em: <http://www.eventosufrpe.com.br/2013/cd/resumos/R1455-1.pdf>. 06 Abr. 2023.