



REGRESSÃO QUANTÍLICA BASEADA NO MODELO DE HENRICKSEN PARA A ESTIMATIVA DA ALTURA DE FUSTES EM PORTO VELHO, RONDÔNIA

Vitória Mariana Costa Dias¹; Lucas Ângelo Campos Leite²; Carolaine Ferreira de Jesus³; Mamede Ribeiro da Silva Neto⁴; Rai Alves Lopes Nogueira⁵; Rayck Carvalho dos Anjos Lacerda⁶; Maria Ilana Batista Reis⁷; Bruno Oliveira Lafetá⁸

1 Vitória Mariana Costa Dias, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista – MG; vitoriarianacostadias2019@gmail.com

2 Lucas Ângelo Campos Leite, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista – MG; angelo12lucas@gmail.com

3 Carolaine Ferreira de Jesus, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista – MG; carolaineferreira104@gmail.com

4 Mamede Ribeiro da Silva Neto, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista – MG; mamederibeirodasilvaneto@gmail.com

5 Rai Alves Lopes Nogueira, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista – MG; raizinhow2017@gmail.com

6 Rayck Carvalho dos Anjos Lacerda, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista – MG; rayckcarvalho5@gmail.com

7 Maria Ilana Batista Reis, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista – MG; marailanabatistareis1@gmail.com

8 Orientador: Bruno Oliveira Lafetá, Pesquisador do IFMG, Campus São João Evangelista; bruno.lafeta@ifmg.edu.br

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho da regressão quantílica na estimativa da altura de fustes em área do bioma Amazônia no município de Porto Velho -RO, tendo como base o modelo hipsométrico de Henricksen. Os dados foram provenientes do Inventário Florestal Nacional realizado em região de planície no município de Porto Velho –RO. O inventário foi coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro e consistiu na distribuição sistemática de 26 conglomerados com quatro subunidades retangulares (20 × 100 m) e perpendiculares em relação ao seu ponto central, em forma de cruz de Malta; a distância entre as subunidades e o ponto central foi de 50 m. Todos os fustes com diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP, cm) $\geq 10,0$ cm e com altura total (H, m) ≥ 5 m foram mensurados com auxílio de fita diamétrica e vara graduada, respectivamente. O modelo linear hipsométrico de Henricksen foi adotado como referência para a estimativa da altura total em função exclusivamente do diâmetro. O modelo foi ajustado para todo o banco de dados pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e Regressão Quantílica (RQ) – com percentil igual a 50%, ou segundo quartil. As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R versão 4.4.1. O inventário florestal contemplou 4.138 fustes com DAP de 10,0 a 191,0 cm (média = 23,2 cm; mediana = 17,8 cm) e H de 10,0 a 48 m (média = 17,3 m; mediana = 16,0 m). As estimativas hipsométricas apresentaram acurácia semelhante tanto com a abordagem MQO quanto com a RQ. A consistência biológica das equações foi especialmente evidenciada pelo parâmetro angular positivo, indicando que fustes mais altos estão associados a menores medidas diamétricas. Conclui-se que a RQ é uma abordagem promissora para a parametrização do modelo hipsométrico de Henricksen aplicada à vegetação lenhosa de ecossistemas naturais na região de estudo.

PALAVRAS CHAVE: Modelagem. Relação hipsométrica. Precisão.

INTRODUÇÃO:

Informações da altura de fustes são imprescindíveis para a quantificação volumétrica de madeira, classificação da capacidade produtiva e administração racional dos recursos florestais. A modelagem hipsométrica é uma metodologia estatística que permite a operacionalização de



inventários florestais, tornando a amostragem mais rápida e menos laboriosa (CAMPOS; LEITE, 2017; LAFETÁ et al., 2021).

O estabelecimento de relações funcionais para a estimativa da altura em função do diâmetro de fustes pode ser realizado empregando diferentes abordagens com vistas a parametrização de modelos matemáticos. A literatura disponibiliza uma variedade de procedimentos para modelagem hipsométrica, que incluem desde o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), procedimentos iterativos, regressão quantílica e até técnicas avançadas de inteligência artificial (BATISTA et al., 2014; CAMPOS; LEITE, 2017).

O modelo hipsométrico de Henricksen (1950) é relativamente simples e se baseia em frequentemente ajustado pelo método MQO. Todavia, esse método pode não capturar adequadamente a variabilidade dos dados, o que pode enviesar os intervalos de confiança dos parâmetros. A regressão quantílica, por sua vez, surge como alternativa de parametrização uma vez que permite modelar diferentes quantis da distribuição condicional da variável resposta. O segundo quartil, em particular, tem sido amplamente utilizado em modelagens biométricas com regressão quantílica, proporcionando uma representação mais robusta dos dados (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2016).

Mediante exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho da regressão quantílica na estimativa da altura de fustes em área do bioma Amazônia no município de Porto Velho -RO, tendo como base o modelo hipsométrico de Henricksen (1950). Este estudo integra uma ação extensionista da disciplina de “Extensão Aplicada à Biometria Florestal”, com o propósito de utilizar dados externos ao IFMG para desenvolver soluções práticas e inteligentes voltadas ao benefício da sociedade.

METODOLOGIA:

Os dados foram provenientes do Inventário Florestal Nacional realizado em região de planície no município de Porto Velho -RO, disponibilizados gratuitamente pelo Sistema Nacional de Informações Florestais (SBF, 2024). A região se encontra em domínio florestal amazônico e possui clima do tipo Am pela classificação do sistema internacional de Köppen. As médias anuais de precipitação e temperatura são de 2.216 mm e 26,1 °C, respectivamente (CLIMATE-DATA.ORG, 2024).

O inventário foi coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro e consistiu na distribuição sistemática de 26 conglomerados com quatro subunidades retangulares (20 × 100 m) e perpendiculares em relação ao seu ponto central, em forma de cruz de Malta; a distância entre as subunidades e o ponto central foi de 50 m. Detalhes sobre a metodologia de amostragem podem ser encontrados em SBF (2024). Todos os fustes com diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP, cm) \geq 10,0 cm e com altura total (H, m) \geq 5 m foram mensurados com auxílio de fita diamétrica e vara graduada, respectivamente.

O modelo linear hipsométrico de Henricksen (1950) foi adotado como referência para a estimativa da altura total em função exclusivamente do diâmetro. O modelo foi ajustado para todo o banco de dados pelo método MQO e regressão quantílica (RQ) – com percentil igual a 50%, ou segundo quartil.



Modelo linear de Henricksen (1950):

$$H = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \varepsilon$$

Em que: β_0 e β_1 = parâmetros dos modelos de regressão e ε = erro aleatório.

O desempenho da modelagem foi avaliado de acordo com os valores da Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM) e Média dos Desvios Absolutos (MDA) e coeficiente de correlação de Pearson ($r_{Y\hat{Y}}$). Menores valores de RQEM e MDA implicaram em melhor qualidade preditiva. Realizaram-se análises de inspeção gráfica dos valores estimados e observados de altura em função do diâmetro, com intervalos de confiança de 95% de probabilidade.

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R versão 4.4.1 (R CORE TEAM, 2024), ao nível de significância de 5%.

RESULTADOS:

O inventário florestal contemplou 4.138 fustes com DAP de 10,0 a 191,0 cm (média = 23,2 cm; mediana = 17,8 cm) e H de 10,0 a 48 m (média = 17,3 m; mediana = 16,0 m). Os parâmetros dos modelos testados e a qualidade dos ajustes estão apresentados na Tabela 1. Todos os parâmetros das equações foram significativos ($p \leq 0,05$). As equações geradas apresentaram poucos desvios, com baixos valores de RQEM e MDA. Os coeficientes de correlação foram moderados e significativos ($r_{Y\hat{Y}} > 0,70$, $p \leq 0,05$). O modelo de Henricksen (1950) ajustado por regressão quantílica exibiu valores de RQEM e MDA similares aos obtidos pela abordagem por mínimos quadrados ordinários, com diferenças expressas em termos centesimais.

Tabela 1. Coeficientes e qualidade de ajuste do modelo de Henricksen (1950) pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) e regressão quantílica (RQ) para a estimativa da altura de fustes em Porto Velho, Rondônia

Método	β_0	β_1	RQEM	MDA	$r_{Y\hat{Y}}$
MQO	-7,2082*	8,1947*	3,9550	2,9632	0,7257*
RQ	-7,6120*	8,2101*	3,9712	2,9476	0,7257*

β_0 e β_1 = parâmetros dos modelos lineares de regressão; RQEM = raiz quadrada do erro médio; MDA = média dos desvios absolutos; e $r_{Y\hat{Y}}$ = coeficiente de correlação de Pearson; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Todas as equações demonstraram um comportamento assintótico crescente da altura em função do diâmetro (Figura 1). Verificou-se sobreposição de margens de confiança ($1 - \alpha = 0,95$) entre as metodologias testadas para o ajuste do modelo de Henricksen (1950).

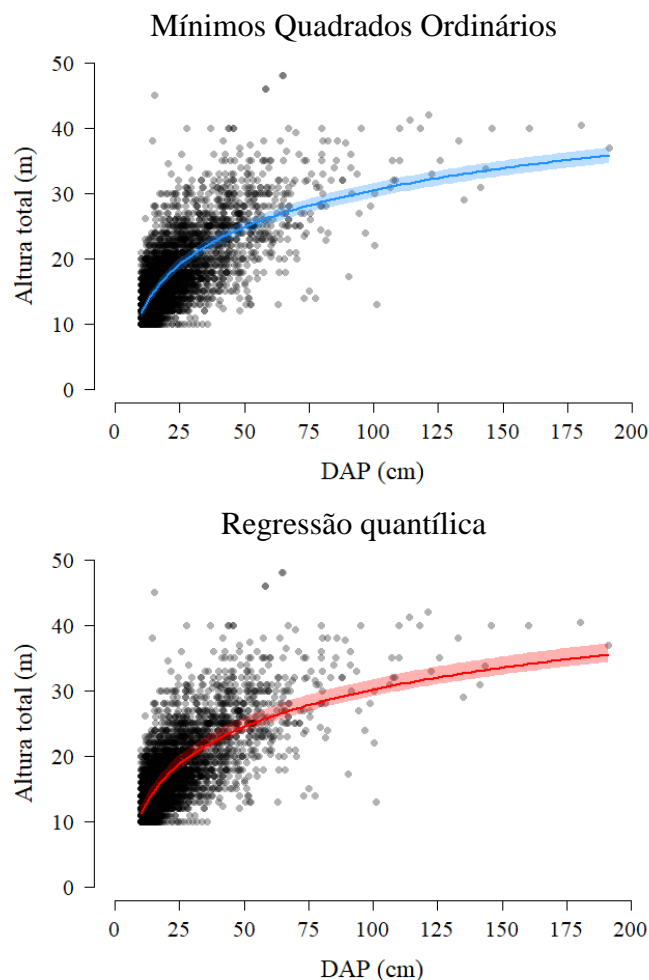


Figura 1. Representações gráficas do modelo de Henricksen (1950) ajustado pelos métodos dos mínimos quadrados ordinários e regressão quantílica para a estimativa da altura de fustes em Porto-Velho, Rondônia. Margens de confiança definidas à 95% de probabilidade.

DISCUSSÕES:

Estabeleceram-se duas relações funcionais baseadas no modelo de Henricksen (1950) para a estimativa da altura de fustes em uma área de domínio amazônico no município de Porto Velho, Rondônia. A consistência biológica das equações foi especialmente evidenciada pelo parâmetro angular positivo, indicando que fustes mais altos estão associados a menores medidas diamétricas.

Os resultados obtidos estão em conformidade com a literatura (CAMPOS; LEITE, 2017; LAFETÁ et al., 2021), onde diversos estudos em vegetação natural destacam uma maior dispersão nas estimativas hipsométricas, refletindo a heterogeneidade estrutural característica desses ecossistemas, em contraste com a uniformidade típica de povoamentos equiâneos (SOUZA; SOARES; 2013; BATISTA et al., 2014). A variabilidade genética e ambiental característica dos ecossistemas tropicais (TAIZ et al., 2017) representa um desafio para modelagem; por isso, o desempenho dos ajustes foi considerado satisfatório tanto do ponto de vista estatístico quanto



biológico. Ambas as equações delinearão parte dessa complexidade estrutural, refletindo de forma geral a relação entre diâmetro e altura (Tabela 1 e Figura 1).

As estimativas hipsométricas obtidas pelo modelo de Henricksen (1950) apresentaram acurácia semelhante tanto com a abordagem dos mínimos quadrados ordinários quanto com a regressão quantílica no percentil de 50%. Destaca-se que a regressão quantílica é especialmente recomendada em cenários com presença de valores discrepantes, pois contribui para reduzir o viés nos parâmetros do modelo matemático (GUJARATI; PORTER, 2011). Os resultados do trabalho contribuem para o desenvolvimento de futuras pesquisas que buscam melhorias na precisão da modelagem biométrica e quantificação madeireira aplicada a vegetações naturais.

CONCLUSÕES:

A regressão quantílica é uma abordagem promissora para a parametrização do modelo hipsométrico de Henricksen (1950) aplicada à vegetação lenhosa de ecossistemas naturais em Porto Velho, Rondônia.

REFERÊNCIAS:

- ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G. Curvas de índices de local em povoamentos de eucalipto obtidas por regressão quantílica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 6, p. 720-727, 2016.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa: UFV. 2017. 636p.
- CLIMATE-DATA.ORG. Clima: Porto Velho. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/americado-sul/brasil/rondonia/porto-velho-3120/>>. Acesso em: 01 ago. 2024.
- GUJARATI, D.N.; PORTER, D.C. **Econometria básica**. 5. Ed. Porto Alegre -RS: AMGH Editora Ltda., 2011. 924p.
- LAFETÁ, B. O.; CARVALHO, F. A. N.; ASSUNÇÃO, S. D.; SANTOS, M. A.; PERPÉTUO, I. A.; PIMENTA, I. A.; PENIDO, T. M. A.; VIEIRA, D. S. Crown quality and hipsometric relationships for Rubiaceae family in water springs of Atlantic forest fragment. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 402-410, 2021.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2024.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. Sistema nacional de informações florestais. Disponível em: <<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/inventario-florestal-nacional-ifn>>. Acesso em 1 ago. 2024.
- SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: UFV, 2013. 322 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 2017. 888p.