# VARIAÇÃO ESPACIAL DA RAZÃO ALTURA/DIÂMETRO EM FLORESTAS DA REGIÃO NORTE DO BRASIL

**Benedita Rafaela de Freitas de Almeida, Cleyriane Miranda da Silva, Ana Clara Gomes de Queirós, Luciano Marques Pinheiro Dias, Caroline Junqueira Sartori, Bruno Oliveira Lafetá**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais / Departamento de Engenharia Florestal, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro - 39705-000 - São João Evangelista-MG, Brasil, eng.ftalbralmeida@gmail.com, cleyriane.educa@gmail.com, anaclaragdq@gmail.com, lucianompd7@gmail.com, caroline.junqueira@ifmg.edu.br, bruno.lafeta@ifmg.edu.br

**Resumo**
Este estudo teve como objetivo avaliar a variação espacial da razão altura/diâmetro (H/D) em remanescentes de florestas naturais da Região Norte do Brasil e sua relação com os gradientes de latitude e longitude. Foram analisados 858 conglomerados do Inventário Florestal Nacional, abrangendo 200.978 indivíduos arbóreos. A H/D média por conglomerado foi caracterizada por estatística descritiva e relacionada aos gradientes geográficos por regressão linear simples. As médias de H/D variaram de 0,6740 em Tocantins a 0,8680 no Amazonas, com maior variabilidade em Roraima (CV = 16,9%) e menor no Acre (CV = 10,0%). A latitude apresentou relação negativa e significativa com H/D (p = 0,0162), porém com baixo poder explicativo ($R^2$ = 0,67%), enquanto a longitude não apresentou relação significativa (p = 0,0571; $R^2$ = 0,42%). Conclui-se que a H/D apresenta variação espacial na Região Norte, mas os gradientes geográficos, isoladamente, apresentam baixa capacidade para explicar essa heterogeneidade.
**Palavras-chave**: Esbeltez arbórea. Gradientes geográficos. Inventário florestal. Latitude. Longitude.

**Área do Conhecimento:** Engenharia Agronômica, Engenharia Florestal.

## Introdução

A compreensão dos padrões de variação da estrutura das florestas tropicais é fundamental para o monitoramento da dinâmica dos ecossistemas, a estimativa de estoques de biomassa e carbono e o planejamento de estratégias de conservação e manejo sustentável. Em extensas áreas da Amazônia, a estrutura florestal apresenta heterogeneidade espacial associada às condições climáticas, edáficas, florísticas e à organização dos povoamentos (FELDPAUSCH *et al*., 2011; QUESADA *et al*., 2012). Essa heterogeneidade também se manifesta nas características estruturais das árvores, cuja variação pode refletir diferenças nas condições ambientais e na organização dos povoamentos.

As características morfométricas das árvores constituem importantes componentes da estrutura florestal, pois expressam relações entre as dimensões dos indivíduos e contribuem para a caracterização de padrões estruturais sob diferentes condições ambientais. Entre essas características, a relação altura/diâmetro (H/D) corresponde à razão entre a altura total e o diâmetro à altura do peito das árvores, representando a proporção entre suas dimensões vertical e diamétrica. Essa relação é utilizada na caracterização da esbeltez das árvores e na avaliação de sua estabilidade mecânica, além de estar associada a condições de crescimento, competição e estrutura dos povoamentos (WONN; O'HARA, 2001; SHARMA *et al*., 2019).

Em florestas tropicais, as relações altura-diâmetro podem variar entre regiões e tipos de floresta, refletindo diferenças nas condições ambientais e na estrutura dos ecossistemas (Feldpausch *et al*., 2011). Embora estudos em escala amazônica tenham demonstrado ampla variação da estrutura florestal associada a gradientes ambientais, a variação espacial da razão H/D em remanescentes de florestas naturais da Região Norte do Brasil, particularmente em relação aos gradientes geográficos de latitude e longitude, permanece pouco caracterizada em escala regional. Essa lacuna dificulta a compreensão da distribuição espacial dessa relação morfométrica ao longo da extensa área de florestas naturais da região.

Diante do exposto, o objetivo foi avaliar a variação espacial da razão H/D em remanescentes de florestas naturais da Região Norte do Brasil, caracterizando sua distribuição entre os estados e verificando sua relação com os gradientes geográficos de latitude e longitude.

**Metodologia**

O presente estudo utilizou dados provenientes do Inventário Florestal Nacional (IFN), coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro e disponibilizado por meio do Sistema Nacional de Informações Florestais. Foram considerados os remanescentes de florestas naturais dos sete estados da Região Norte do Brasil (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), sendo excluídas as áreas classificadas como florestas plantadas. A base de dados compreendeu 858 conglomerados amostrais, distribuídos em uma malha sistemática de 20 × 20 km.

Cada conglomerado foi estruturado segundo o padrão de cruz de Malta, constituído por quatro subunidades amostrais retangulares de área fixa (20 × 100 m), orientadas segundo os pontos cardeais e posicionadas a 50 m do ponto central do conglomerado. Foram considerados todos os indivíduos arbóreos com diâmetro à altura do peito (DAP, cm) ≥ 10,0 cm, totalizando 200.978 indivíduos nos sete estados da Região Norte. O DAP foi mensurado com fita diamétrica e a altura total (H, m), correspondente à distância entre a superfície do solo e o ápice da árvore, foi obtida com auxílio de vara graduada.

Para cada indivíduo, foi calculada a razão altura/diâmetro (H/D) pela relação entre a altura total e o DAP. Posteriormente, para cada conglomerado, foi obtida a média dos valores de H/D dos indivíduos inventariados, constituindo a variável-resposta utilizada nas análises. Dessa forma, cada conglomerado foi considerado como uma unidade amostral para avaliação da variação espacial da razão H/D. Esses dados foram submetidos à análise estatística descritiva por estado, considerando média, mediana, valores mínimo e máximo e desvio-padrão.

As coordenadas geográficas de latitude e longitude do ponto central de cada conglomerado foram centralizadas pela média dos valores observados, obtendo-se os respectivos desvios em relação à posição geográfica média da área amostrada. A centralização foi utilizada para facilitar a interpretação dos parâmetros dos modelos, de modo que o intercepto representasse a estimativa da razão H/D na posição geográfica média dos conglomerados.

Ajustaram-se modelos de regressão linear simples para avaliar a relação entre a razão H/D e cada gradiente geográfico, considerando-se a latitude e a longitude como variáveis independentes e a razão H/D média do conglomerado como variável dependente (Tabela 1). Os ajustes foram realizados pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO).

Tabela 1 - Modelos de regressão linear utilizados para avaliar a relação entre a razão altura/diâmetro (H/D) e os gradientes geográficos dos conglomerados florestais da Região Norte do Brasil.

| Modelos | Forma de ajuste |
|---|---|
| M1 | $H/D = \beta_0 + \beta_1 Latitude + \varepsilon$ |
| M2 | $H/D = \beta_0 + \beta_1 Longitude + \varepsilon$ |

$\beta_0$ e $\beta_1$ = parâmetros dos modelos de regressão; $\varepsilon$ = erro aleatório.
Fonte: os autores.

As pressuposições do MQO avaliadas foram a normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro–Wilk, e a homogeneidade das variâncias, pelo teste de Breusch–Pagan. A significância das relações funcionais foi avaliada pelo teste F da regressão, enquanto o desempenho dos modelos foi avaliado pela raiz quadrada do erro médio (RQEM) e pelo coeficiente de determinação ($R^2$). As relações entre H/D e os gradientes de latitude e longitude foram representadas graficamente por diagramas de dispersão, com a inclusão das respectivas retas de regressão. Para a avaliação da significância estatística, foram adotados os níveis de significância de 1% e 5% de probabilidade. As análises foram realizadas no software R, versão 4.6.0 (R CORE TEAM, 2026).

**Resultados**

A razão H/D apresentou variação entre os estados da Região Norte, com médias que variaram de 0,6740, em Tocantins, a 0,8680, no Amazonas (Tabela 2). Os valores observados nos conglomerados abrangeram ampla faixa de variação, indicando diferenças na relação entre altura e diâmetro ao longo da área amostrada. De modo geral, Amazonas, Pará e Rondônia apresentaram as maiores médias de H/D, enquanto Acre, Amapá, Roraima e Tocantins apresentaram valores médios inferiores. A variabilidade relativa dos valores de H/D foi maior em Roraima (CV = 16,9%) e menor no Acre (CV = 10,0%).

Tabela 2 - Estatística descritiva da razão altura/diâmetro (H/D) por estado da Região Norte do Brasil.

| Estado | Conglomerados | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | Desvio-padrão |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Acre | 95 | 0,7500 | 0,7440 | 0,4860 | 0,964 | 0,0751 |
| Amazonas | 298 | 0,8680 | 0,8810 | 0,5010 | 1,110 | 0,1040 |
| Amapá | 109 | 0,7580 | 0,7160 | 0,5240 | 1,120 | 0,1090 |
| Pará | 124 | 0,8380 | 0,8390 | 0,5370 | 1,190 | 0,1280 |
| Rondônia | 98 | 0,8260 | 0,8260 | 0,5840 | 1,100 | 0,0933 |
| Roraima | 128 | 0,7840 | 0,7780 | 0,4070 | 1,270 | 0,1330 |
| Tocantins | 6 | 0,6740 | 0,6540 | 0,5560 | 0,827 | 0,1040 |

Fonte: os autores.

As pressuposições do MQO foram atendidas quanto à normalidade dos resíduos para ambas as equações ($p > 0,01$). A homogeneidade das variâncias foi atendida somente para a relação funcional entre H/D e a latitude ($p > 0,01$). Para a latitude, observou-se relação negativa entre H/D e o gradiente geográfico, significativa pelo teste F a 5% ($F = 5,8027$; $p = 0,0162$), porém a equação explicou apenas 0,67% da variação observada na razão H/D (Tabela 3). Assim, o aumento da latitude esteve associado à redução da razão H/D, indicando menor relação entre altura e diâmetro nos conglomerados situados em maiores latitudes. Para a longitude, verificou-se relação positiva, mas não significativa ao nível de 5% ($F = 3,6308$; $p = 0,0571$), com a equação explicando apenas 0,42% da variação da razão H/D.

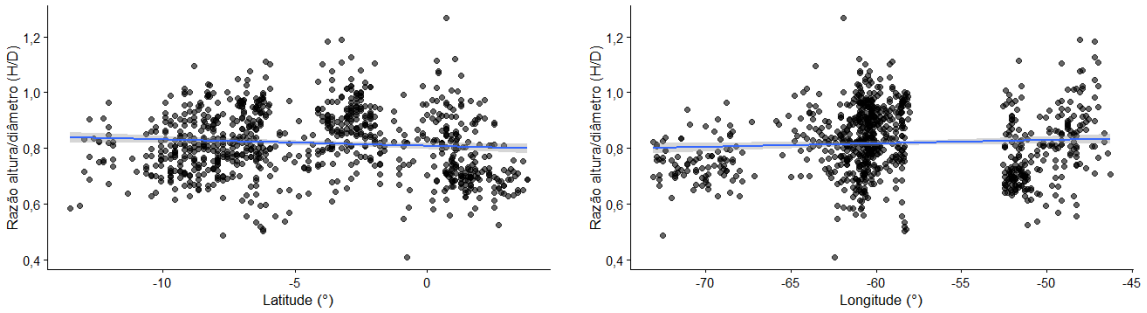
Tabela 3 - Coeficientes e estatísticas de ajuste dos modelos lineares entre a razão altura/diâmetro (H/D) e os gradientes geográficos dos conglomerados florestais da Região Norte do Brasil.

| Variável independente | $\beta_0$ | $\beta_1$ | F | RQEM | $R^2$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Latitude | 0,8178 | −0,0023 | 5,8027* | 0,1183 | 0,67 |
| Longitude | 0,8178 | 0,0012 | $3,6308^{ns}$ | 0,1184 | 0,42 |

F = estatística do teste F da regressão; RQEM = raiz do quadrado do erro médio; $R^2$ = coeficiente de determinação; * = significativo a 5% ($p < 0,05$); ns = não significativo a 5% ($p \geq 0,05$).
Fonte: os autores.

A distribuição dos valores de H/D em função dos gradientes geográficos é apresentada na Figura 1. Observa-se elevada dispersão dos valores ao longo de ambos os gradientes, com ampla sobreposição entre os conglomerados. A reta ajustada para a latitude apresenta inclinação negativa, enquanto para a longitude a inclinação é positiva, em concordância com os coeficientes dos modelos lineares. A acentuada dispersão em torno das retas indica baixa capacidade dos gradientes geográficos, isoladamente, em explicar a variação da razão H/D entre os conglomerados.

Figura 1 - Relação entre a razão altura/diâmetro (H/D) e os gradientes de latitude e longitude nos conglomerados florestais amostrados na Região Norte do Brasil.




Fonte: os autores.

## Discussão

A razão altura/diâmetro (H/D) é um indicador morfofuncional relacionado à forma de crescimento das árvores e à sua estabilidade mecânica; maiores valores indicam indivíduos mais esbeltos e, potencialmente, mais suscetíveis a esforços mecânicos. A relação altura-diâmetro pode variar em função das condições ambientais e da estrutura da vegetação, incluindo características climáticas, edáficas e estruturais da floresta (FELDPAUSCH *et al*., 2011). Além disso, diferenças na disponibilidade de recursos e na competição podem influenciar a alocação de biomassa e o crescimento relativo entre os componentes da planta (POORTER *et al*., 2012). Dessa forma, a variação da H/D entre os conglomerados pode refletir a atuação conjunta de fatores ambientais e estruturais que não são necessariamente capturados pelos gradientes geográficos avaliados isoladamente.

A variação observada na razão H/D entre os estados da Região Norte (Tabela 2) evidencia heterogeneidade estrutural nos remanescentes florestais amostrados. O elevado valor médio no Amazonas (H/D = 0,8680) e os menores em Tocantins (H/D = 0,6740), Acre (H/D = 0,7500) e Amapá (H/D = 0,7580) sugerem diferenças regionais nas condições ambientais e na composição da vegetação que podem influenciar a relação entre altura e diâmetro. A relação altura-diâmetro de árvores tropicais apresenta variação associada às condições ambientais e à estrutura da floresta, com influência de fatores climáticos, edáficos e estruturais (FELDPAUSCH *et al*., 2011). Na Amazônia, a estrutura florestal também apresenta variação associada às condições do solo e do clima, reforçando a importância desses fatores na interpretação de padrões espaciais da vegetação (Quesada *et al*., 2012). A maior variabilidade relativa observada em Roraima (CV = 16,9%) e a menor no Acre (CV = 10,0%) reforçam a heterogeneidade espacial da razão H/D na região.

A relação negativa entre H/D e latitude, embora significativa a 5% (p = 0,0162), apresentou baixo poder explicativo ($R^2$ = 0,67%; Tabela 3). Esse resultado indica que, embora exista uma associação estatística entre as variáveis, a latitude, isoladamente, apresenta contribuição limitada para explicar a variação da razão H/D na escala regional. A Figura 1 reforça essa interpretação ao mostrar elevada dispersão dos valores em torno da reta ajustada, com ampla sobreposição entre os conglomerados. Gradientes geográficos podem estar associados a mudanças ambientais ao longo do espaço, mas essas relações podem ser mascaradas ou atenuadas pela variação de fatores locais, como condições edáficas, estrutura da vegetação e disponibilidade de recursos (FELDPAUSCH *et al*., 2011; QUESADA *et al*., 2012). Assim, a significância estatística observada para a latitude deve ser interpretada como uma associação espacial de pequena magnitude, e não como evidência de um efeito latitudinal predominante sobre a razão H/D.

Para a longitude, a relação positiva não foi significativa (p = 0,0571), e o $R^2$ de 0,42% (Tabela 3) reforça a ausência de um padrão linear consistente. A Figura 1 mostra que os valores de H/D permanecem amplamente dispersos ao longo do gradiente longitudinal, indicando que conglomerados situados em diferentes posições geográficas podem apresentar valores semelhantes ou contrastantes. Esse comportamento é compatível com a elevada heterogeneidade ambiental das florestas amazônicas, nas quais variações de solo, clima e estrutura da vegetação ocorrem em diferentes escalas espaciais (QUESADA *et al*., 2012). Portanto, a baixa capacidade explicativa dos modelos sugere que a posição geográfica, considerada isoladamente, não é suficiente para representar a complexidade espacial da variação da razão H/D.

Apesar dos achados, algumas limitações devem ser reconhecidas. Primeiramente, a razão H/D foi utilizada como valor médio por conglomerado. Essa abordagem pode atenuar a variabilidade intraparcela e reduzir a sensibilidade para detectar respostas ambientais em escala fina. Em segundo

lugar, foram avaliadas apenas relações lineares entre H/D e os gradientes geográficos. Estudos futuros podem testar modelos não lineares e diferentes combinações entre latitude e longitude, buscando representar possíveis padrões mais complexos na variação espacial da razão H/D.

Além disso, variáveis ambientais e estruturais importantes não foram consideradas. Entre elas, destacam-se área basal, densidade de indivíduos, estoque de carbono, propriedades do solo (textura, nutrientes e alumínio trocável) e histórico de perturbações antrópicas. Essa ausência limita a capacidade de interpretar os padrões observados em termos causais. A integração dessas variáveis em modelos multivariados pode ampliar a compreensão dos fatores associados à variação da relação altura-diâmetro nas florestas naturais da Amazônia.

## Conclusão

A razão altura/diâmetro apresenta variação espacial entre os remanescentes florestais da Região Norte do Brasil, indicando heterogeneidade na relação entre as dimensões das árvores. A latitude apresenta uma associação de pequena magnitude com essa relação, enquanto a longitude, isoladamente, não estabelece um padrão linear consistente. Dessa forma, os gradientes geográficos não explicam, por si só, a variação da razão H/D na região. A inclusão de variáveis ambientais, edáficas e estruturais, associada à avaliação de relações não lineares, constitui uma perspectiva para ampliar a compreensão dos fatores que condicionam a variação da razão altura/diâmetro nas florestas naturais da região estudada.

## Referências

FELDPAUSCH, T. R.; BANIN, L.; PHILLIPS, O. L. et al. Height-diameter allometry of tropical forest trees. **Biogeosciences**, Göttingen, v. 8, n. 5, p. 1081-1106, 2011.

POORTER, H.; NIKLAS, K. J.; REICH, P. B. et al. Biomass allocation to leaves, stems, and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. New Phytologist, Cambridge, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2012.

QUESADA, C. A.; PHILLIPS, O. L.; SCHWARZ, M. et al. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. Biogeosciences, Göttingen, v. 9, n. 6, p. 2203-2246, 2012.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2026.

SHARMA, R. P.; et al. A nonlinear mixed-effects height-to-diameter ratio model for several tree species based on Czech National Forest Inventory data. **Forests**, v. 10, n. 1, p. 70, 2019.

WONN, H. T.; O'HARA, K. L. Height:Diameter ratios and stability relationships for four northern Rocky Mountain tree species. **Western Journal of Applied Forestry**, v. 16, n. 2, p. 87–94, 2001.

## Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) e ao Serviço Florestal Brasileiro (SFB), pelo fornecimento de informações e recursos que contribuíram para a realização deste trabalho.