



Sensibilidade de equações volumétricas ajustadas para Floresta Estacional Semidecidual
Sensitivity of volumetric equations adjusted for Semideciduous Seasonal Forest

Fernanda Beatriz Rocha Fernandes¹; Juliana Fonseca Cardoso²; Debyson Gabriel de Jesus Paim³; Evellyn Tinum Lima⁴; Josiane Silva Costa Bruzinga⁵; Marcio Leles Romarco de Oliveira⁶

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
fernanda.rocha@ufvjm.edu.br

²Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
juliana.cardoso@ufvjm.edu.br

³Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
debyson.gabriel@ufvjm.edu.br

⁴Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
tinum.lima@ufvjm.edu.br

⁵Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
josiane.bruzinga@ufvjm.edu.br

⁶Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
marciromarco@ufvjm.edu.br

Resumo: O objetivo desse estudo foi comparar quatro equações de volume ajustadas especificamente para Floresta Estacional Semidecidual (FES) com a equação de volume do CETEC desenvolvida para essa mesma fitofisionomia. Foram utilizados dados de inventário florestal de sete parcelas permanentes medidas em 2023, remedidas em 2025, considerando todos os indivíduos com diâmetro à 1,30 m de altura ($D \geq 5,0$ cm). A sensibilidade das equações foi avaliada em relação à equação do CETEC, por meio do teste F de Graybill. As equações apresentam maiores médias de volumes para indivíduos presente nas maiores classes de diâmetro, em ambas as medições. O teste F indicou diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre todas as equações avaliadas e a o CETEC, em todas as classes diamétricas analisadas. Os resultados evidenciam a importância da escolha criteriosa de equações de volume em estudos aplicados à FES, especialmente quando se considera a distribuição diamétrica da população florestal.

Palavras-chaves: Floresta nativa; Mensuração florestal; Alometria.

Abstract: The objective of this study was to compare four volume equations specifically adjusted for Semideciduous Seasonal Forest (SSF) with the CETEC volume equation developed for this same phytophysiology. Forest inventory data from seven permanent plots measured in 2023 and remeasured in 2025 were used, considering all individuals with a diameter at 1.30 m height ($D \geq 5.0$ cm). The sensitivity of the equations to the CETEC equation was assessed using Graybill's F test. The equations showed higher mean volumes for individuals in the largest diameter classes in both measurements. The F test indicated statistically significant differences ($p < 0.05$) between all the equations evaluated and the CETEC equation in all diameter classes analyzed. The results highlight the importance of carefully selecting volume equations in studies applied to SSF, especially when considering the diameter distribution of the forest population.

Keywords: Native forest; Forest measurement; Allometry.



INTRODUÇÃO

A estimativa volumétrica em Florestas nativas permite a quantificação do estoque de recursos naturais, carbono e biomassa, assim como, informações para ações de manejo (Silva et al., 2018). Em Floresta Estacional Semidecidual (FES), fitofisionomia caracterizada pela grande diversidade e estrutura heterogênea (Garbin, 2017), a adoção de equações volumétricas ajustadas a partir de dados regionais permite estimativas mais precisas e representativas (Tonini et al., 2015).

Diversos estudos têm proposto equações específicas de volume para diferentes regiões da FES, levando em conta variações locais de sítio, composição florística e estrutura, visando reduzir erros sistemáticos de estimativa e aumentar a precisão dos inventários (Scolforo et al., 2008; Amaro, 2010; Gama et al., 2017).

Entre essas equações, destaca-se a equação ajustada pelo CETEC (1995), amplamente utilizada como referência em Minas Gerais. No entanto, a aplicação de equações generalistas em áreas com características distintas pode gerar distorções nas estimativas, ressaltando a importância de avaliar a diferença da estimativa volumétrica geradas por essas equações (Scolforo et al., 2008; Amaro, 2010; Correia, 2017; Silva, 2019.)

O objetivo desse estudo foi comparar quatro equações de volume ajustadas especificamente para a Floresta Estacional Semidecidual com a equação de volume do CETEC (1995), para a mesma fitofisionomia. A comparação permite analisar o quanto as equações variam nas estimativas, evidenciando o impacto da escolha da equação sobre a acurácia dos resultados.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual de 4,0 hectares, localizado no município de Gouveia – MG, Serra do Espinhaço, sob as coordenadas 18° 25' 08" S e 43° 44' 02". Pela classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwb, caracterizado por verões úmidos e invernos secos (Cruz et al., 2021).

Coleta e análise de dados

Á área de amostragem corresponde a 2,8 ha. Foram instaladas e mensuradas sete parcelas quadradas de 20 x 20m (400m²), em cada parcela foram medidos e identificados



todos os indivíduos com diâmetro à 1,30 m do solo (D) $\geq 5,0$ cm, em 2023 e remedidos em 2025. Os indivíduos que apresentaram mais de um fuste foram mensurados respeitando o critério de inclusão, se ao menos um fuste entrasse no critério de inclusão todos os outros foram medidos.

Com os dados de diâmetros (D) e altura total (H), das duas medições (2023 e 2025), foi feito o diâmetro equivalente (D_e) dos indivíduos para que fosse possível estimar o volume do fuste com casca de cada árvore, com o uso da equação ajustada pelo CETEC (1995), para Floresta Estacional Semidecidual (FES), (equação 1). Em que: Vf = volume do fuste com casca, em m^3 ; D = diâmetro com casca a 1,30 m do solo, em cm; H = altura total, em m.

$$Vf = 0,000038857 * D^{1,70764} * H^{1,32032} \quad R^2 = 0,989 \quad [1]$$

Devido à impossibilidade em cortar as árvores para realização da cubagem rigorosa e a impraticabilidade de cubar indivíduos em pé, os volumes obtidos pela equação do CETEC (1995), foram considerados como “volumes de referência”. Para avaliar a sensibilidade das equações ajustadas para FES em comparação com a equação ajustada do CETEC (1995), foram selecionadas quatro equações volumétricas de diferentes autores (Tabela 1).

Tabela 1 - Equações ajustadas, para estimativa de volume do fuste (m^3), em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, Gouveia-MG.

Nº	Equação	R ²	Autor
1	$Vf = 0,000070 * D^{2,204301} * H^{0,563185}$	0,970	
2	$Vf = 0,000031 * (D^2 * H)^{1,027050}$	0,958	Amaro (2010)
3	$Vf = 0,000041 * (D^2 * H)$	0,958	
4	$Ln(Vf) = -9,8302960482 + 1,7422298449 * Ln(D) + 1,1389295494 * Ln(H)$	0,947	Scolforo (2008)

Em que: Nº = número da equação; Vf = volume fuste com casca, em m^3 ; H = altura total, em metros; D = diâmetro a 1,30 m do solo, em cm; Ln = logaritmo neperiano.

A equação proposta por Scolforo (2008), foi estimada em várias regiões de Minas Gerais, para os conjuntos de sub-bacias hidrográficas (Alto, médio e baixo Jequitinhonha e Rio Araçuaí) da bacia do Rio Jequitinhonha, inseridas na fisionomia Floresta Estacional



Semidecidual. Já as equações propostas por Amaro (2010) foram estimadas em uma única região que está localizada em Viçosa, Minas Gerais.

Os volumes estimados para cada árvore, utilizando as diferentes equações avaliadas, foram primeiramente comparados aos volumes de referência de forma individual. Posteriormente, para uma análise mais aprofundada, os dados foram agrupados em classes diamétricas com amplitude de 5 cm. Essa organização permitiu avaliar o desempenho das equações em diferentes faixas de tamanho das árvores.

As análises foram conduzidas separadamente para cada inventário (2023 e 2025), a fim de verificar a consistência dos resultados ao longo do tempo. Para cada ano, foi aplicado o teste F de Graybill (Graybill, 1976), para comparar as estimativas de volume por indivíduo pelas equações e a do CETEC. O nível de significância adotado foi de 5% ($\alpha = 0,05$). Todas as análises foram realizadas no *software* R (versão 4.5.0) (R Core Team, 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram registrados 605 indivíduos na primeira medição (2023), e 646 na segunda medição (2025), com diâmetro $D \geq 5,0$ cm. O maior número de indivíduos se concentra em diâmetros entre 5 a 20 cm (Figura 1), para ambas as medições.

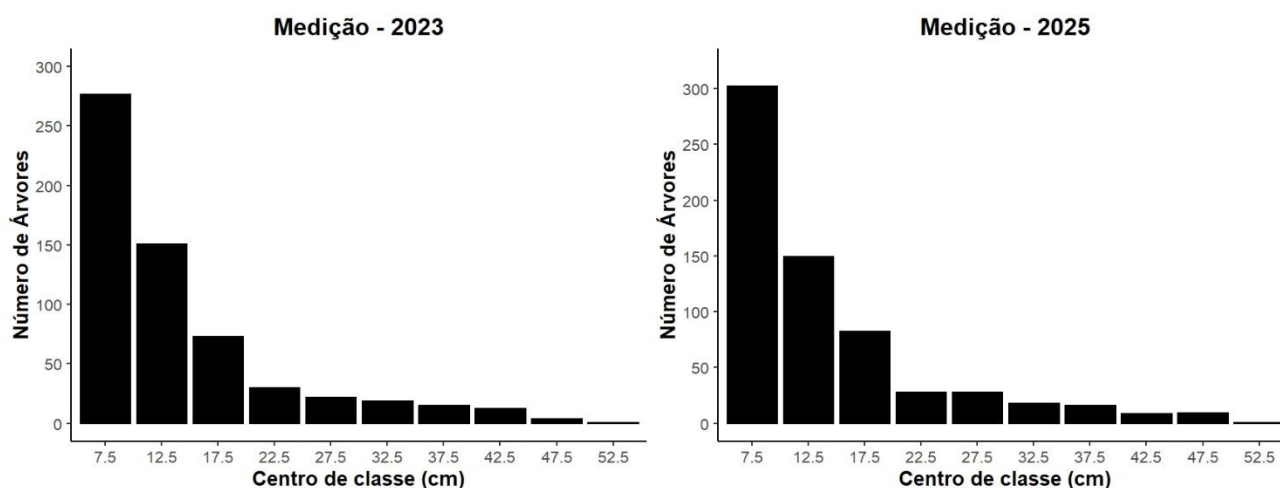


Figura 1: Distribuição diamétrica das árvores inventariadas, considerando indivíduos com $D \geq 5,0$ cm, para medição 2023 e 2025, em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, Gouveia-MG.



Essa característica de maior concentração de indivíduos de menor diâmetro em uma comunidade, é típico de floresta natural, caracterizada por uma curva em “J invertido” (Silva, 2017). Utilizando equações para a estimativa dos volumes geradas para Floresta Estacional Semidecidual, característico do fragmento em estudo, observamos que no geral, as equações seguem o padrão já esperado, de maiores médias de volumes para indivíduos presente nas maiores classes de diâmetro, em ambas as medições (Figura 2).

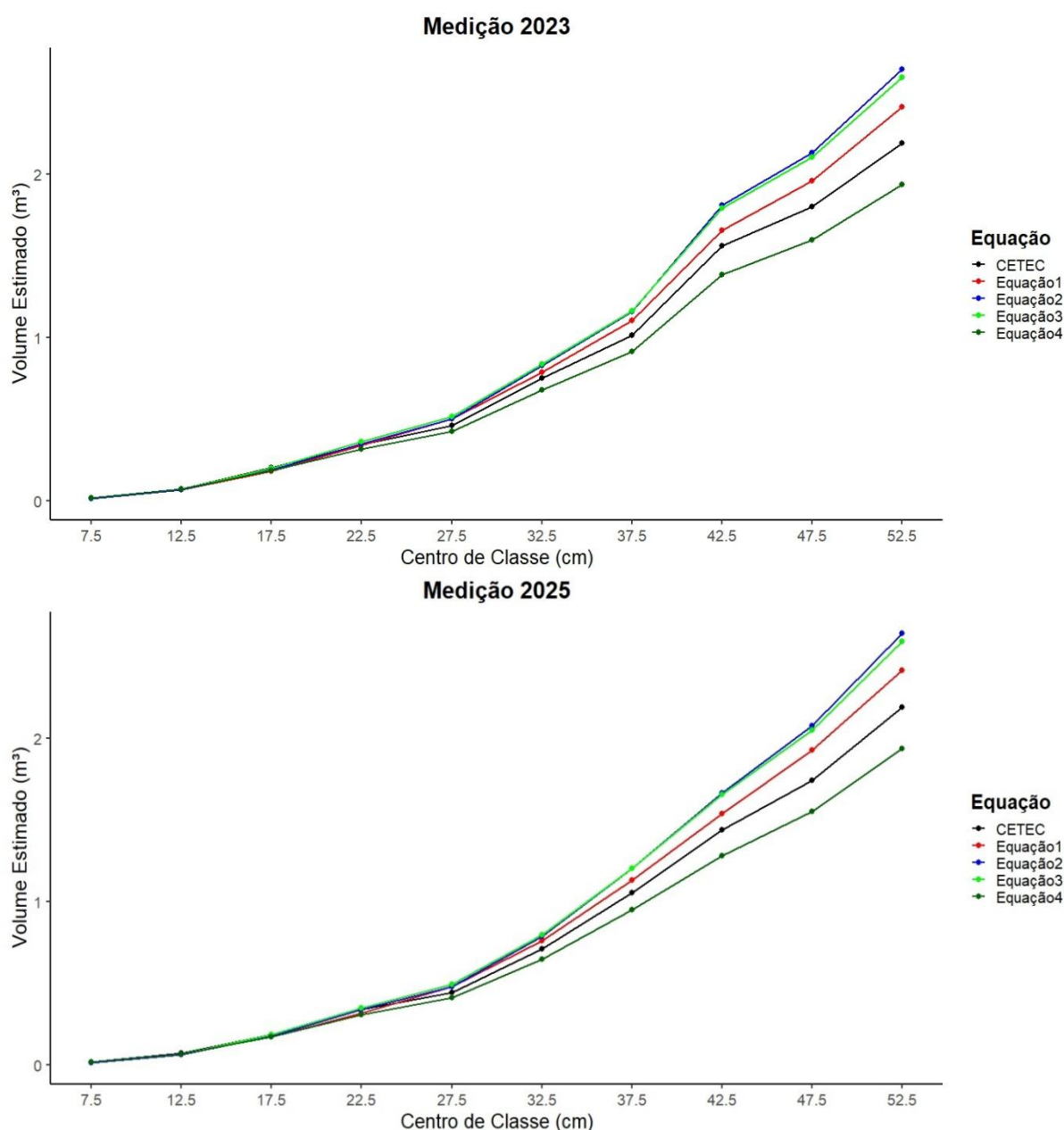


Figura 2: Volume médio estimado para quatro equações desenvolvidas para Floresta Estacional Semidecidual, por classe diamétrica, em comparação a estimativa pelo CETEC (1995), para medição 2023 e 2025, em Gouveia-MG.



A medição de 2025 expressa volumes mais elevados para todas as equações, indicando crescimento dos indivíduos. As equações 1, 2 e 3 apresentam tendência de superestimação, enquanto a equação 4 subestimou os volumes, quando comparadas a estimativa do volume pelo CETEC, para as classes de maior tamanho, em 2023 e 2025.

Apesar das equações apresentarem semelhança visual na estimativa dos volumes para diâmetros menores ($>27,5$), o teste F de Graybill demonstrou que o volume por classe de diâmetro foi significativo a 95% de probabilidade, para todas as equações e para as duas medições (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação dos volumes entre as equações estimadas e o volume de referência CETEC (1995), por meio do teste F de Graybill.

Equações	Medição 2023		Medição 2025	
	MAPE (%)	F _{calculado}	MAPE (%)	F _{calculado}
CETEC – Equação 1	19,27	5,55*	18,34	6,37*
CETEC – Equação 2	13,62	7,68*	13,09	8,82*
CETEC – Equação 3	9,38	7,07*	8,85	8,05*
CETEC – Equação 4	6,72	5,07*	6,54	5,27*

Em que: MAPE (%) = diferença percentual média absoluta, em %; F_{calculado} = valor do teste F de Graybill calculado, * = significantes pelo teste, ao nível de significância de 5%.

Apresentando estimativas diferentes que variam entre 19,27% a 6,72% na medição 2023, e 18,34% a 6,54% em 2025, quando comparadas as equações para estimativa do volume em relação ao volume de referência. Essa característica, demonstra sensibilidade das equações ao estimar o volume à medida que a relação H e D aumenta. Podendo ser explicada pela variação nas características do fuste, como forma, defeitos no tronco, além da relação entre a altura e o diâmetro (da Silva et al., 2020; Santos et al., 2023).

Vale salientar a necessidade de mais equações para ajuste de equações volumétricas para fitofisionomia regional, local e ou espécies, em Minas Gerais, visando a precisão nas estimativas dos volumes, e consequentemente a sustentabilidade e o planejamento do manejo florestal. Essa divergência reforça a necessidade de seleção criteriosa de equações de volume, considerando as características estruturais da floresta local. O uso de equações inadequadas pode resultar em estimativas enviesadas de volume, comprometendo estudos de dinâmica, prognoses e decisões de manejo florestal. Assim, recomenda-se a adoção de



equações compatíveis com a estrutura diamétrica e a composição florística da área de estudo.

CONCLUSÃO

As análises demonstraram que todas as equações ajustadas especificamente para a Floresta Estacional Semidecidual diferem significativamente da equação do CETEC (1995), sobretudo nas classes diamétricas superiores.

REFERÊNCIAS

AMARO, M. A. Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no Município de Viçosa-MG. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, p. 168, 2010.

CETEC – CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Determinação de equações volumétricas aplicáveis ao manejo sustentado de florestas nativas do estado de Minas Gerais e outras regiões do país. Belo Horizonte-MG: Fapemig/Cetec. (Relatório Final), p. 295, 1995.

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*, v. 24, n. e20150237, 2017.

CRUZ, S. A. C. F.; STARLING, M. F. V.; SILVA, A. F. Flora da face norte da Serra de Santo Antônio Planalto de Diamantina, Gouveia, Minas Gerais. MG. *Biota*, v.13, n.2, 2021.

DA SILVA, L. B. D.; MORAIS, V. A.; CAETANO, M. G.; BERNARDES, L. F. G. D. M. Equações para estimativa volumétrica de espécies arbóreas da Amazônia. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, v. 18, n. 1, p. 16-26, 2020.

GAMA, J. R. V.; de. SOUZA, L. A.; VIEIRA, D. S.; LEITE, H, G. Equações de volume para uma floresta ombrófila aberta, município de Codó, Estado do Maranhão. *Revista brasileira de ciências agrárias*, v. 12, n. 4, p. 535-542, 2017.

GARBIN, M. L.; SAITER, F. Z.; CARRIJO, T. T.; PEIXOTO, A. L. 2017. Breve Histórico e Classificação da Vegetação Capixaba. *Rodriguésia*, v. 68, n. 5, p. 1883-1894, 2017.

GRAYBILL, J. Theory and application of the linear model. Belmont: Duxbury, 1976.



R CORE TEAM. _R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation forKuehne Statistical Computing, Vienna, Austria, 2025. <https://www.R-project.org/>.

SANTOS, A. P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; PÉLLICO, S.; BEHLING, A. Calibração de equações de volume em povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild. *Ciência Florestal*, v. 33, n. 1, p. e64859, 2023.

SCOLFORO, J. R. Inventário Florestal de Minas Gerais-Equações de Volume, Peso de Matéria Seca e Carbono para Diferentes Fisionomias da Flora Nativa. Editora UFLA, 2008.

SILVA, L. D. C.; GONÇALVES, A. F. A.; LOPES, I. L.; PAULA, R. R.; SILVA, G. F.; MENDONCA, A. R. Exatidão de equações para predição do volume do fuste em uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana em Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. In: VII Congresso Florestal Latino-Americano, 2018, Vitória-ES. VII Congresso Florestal Latino-Americano, 2018.

SILVA, L.S; SOARES, C.C.C.; COSTA, T.R.; DA COSTA, F.N.; BOTREL, R.T.; MACHADO, E.L.M. As variáveis edáficas influenciam os padrões de distribuição das espécies arbóreas em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 17, n. 2, p. 1268–1282, 2024.

SILVA, R. L. D. Volumetria e relação hipsométrica para um fragmento ecótono de floresta estacional semidecidual e ombrófila mista em Dois Vizinhos, PR. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 51, 2019.

SILVA, W. M. Regeneração natural e dinâmica do componente arbustivo-arbóreo de uma floresta restaurada. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. p. 93, 2017.

TONINI, H.; BORGES, R.A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.35, n.82, p.1-8, 2015.