

Documentos

393

Colombo, PR / Junho 2024

Quantificação de volume individual de árvores em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, nas áreas de cultivo de erva-mate sombreada, sob sistema tradicional

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



Embrapa

Florestas

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura e Pecuária*

ISSN 1517-526X / e-ISSN 1980-3958

Documentos 393

Junho, 2024

Quantificação de volume individual de árvores em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, nas áreas de cultivo de erva-mate sombreada, sob sistema tradicional

*Denise Jeton Cardoso
Maria Augusta Doetzer Rosot
Marilice Cordeiro Garrastazú
André Eduardo Biscaia de Lacerda*

*Embrapa Florestas
Colombo, PR
2024*

Embrapa Florestas	<i>Sandra Bos Mikich</i>
Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba	<i>Susete do Rocio Chiarelo Penteado</i>
Caixa Postal 319	<i>Valderés Aparecida de Souza</i>
83411-000 Colombo, PR	
Fone: (41) 3675-5600	Edição executiva e revisão de texto
www.embrapa.br/florestas	<i>José Elidney Pinto Júnior</i>
www.embrapa.br/fale-conosco/sac	
Comitê Local de Publicações	Normalização bibliográfica
Presidente	<i>Francisca Rasche (CRB-9/1204)</i>
<i>Patrícia Póvoa de Mattos</i>	
Vice-presidente	Projeto gráfico
<i>José Elidney Pinto Júnior</i>	<i>Leandro Sousa Fazio</i>
Secretária-executiva	Diagramação
<i>Elisabete Marques Oaida</i>	<i>Celso Alexandre de Oliveira Eduardo</i>
Membros	Foto da capa
<i>Annette Bonnet</i>	<i>Tiago dos Santos Kanno</i>
<i>Cristiane Aparecida Fiorante Reis</i>	
<i>Elenice Fritzscons</i>	Publicação digital: PDF
<i>Guilherme Schnell e Schühli</i>	
<i>Marilice Cordeiro Garrastazú</i>	

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Quantificação de volume individual de árvores em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, nas áreas de cultivo de erva-mate sombreada, sob sistema tradicional. [recurso eletrônico] / Denise Jeton Cardoso ... [et al.]. - Colombo : Embrapa Floresta, 2024.

PDF (30 p.) : il. color. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1517-522x : e-ISSN 1980-3958 ; 393)

1. *Ilex paraguariensis*. 2. Sistema de cultivo. 3. Floresta tropical. 4. Madeira. 5. Medição. 6. Agricultura familiar. 7. Produto florestal. I. Cardoso, D. J. II. Rosot, M. A. D. III. Garrastazú, M. C. IV. Lacerda, A. E. B. de. V. Série.

CDD 634.96 (21. ed.)

Autores

Denise Jeton Cardoso

Engenheira florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Maria Augusta Doetzer Rosot

Engenheira florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Marilice Cordeiro Garrastazú

Engenheira florestal, mestre em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

André Eduardo Biscaia de Lacerda

Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Apresentação

Operações como a poda e a colheita de árvores de pequeno e médio portes existentes nas florestas secundárias, que sombreiam o cultivo de erva-mate no sistema tradicional, estão regulamentadas pela Portaria nº 470 de 21 de dezembro de 2022, do Instituto Água e Terra, estado do Paraná. Esta é uma modalidade de manejo florestal que permite ao proprietário rural regular a floresta, controlando a competição por luminosidade, água e nutrientes do solo para o cultivo de erva-mate; além disso, obtém madeira para o consumo próprio, até o limite de 15 m³ por ano. No entanto, essa possibilidade de realizar o manejo de suas florestas gerou a necessidade de quantificar o volume das árvores de maneira apropriada, para determinar a quantidade suficiente de árvores, com diferentes diâmetros e alturas, de forma a atender os requisitos da referida portaria.

O cálculo do volume do tronco das árvores pode ser realizado por equações de volume da árvore ou aplicando-se um fator de forma multiplicado pelo volume do cilindro, calculado a partir do DAP e da altura do tronco da árvore. Em ambas as maneiras, é necessário que a equação de volume ou o fator de forma sejam representativos (espécies, amplitudes de diâmetro e altura semelhantes) do conjunto de árvores para as quais se pretende quantificar o volume, antes de cortá-las.

O objetivo desse trabalho foi obter um fator de forma, e ou uma equação de volume que pudessem representar a realidade das florestas secundárias existentes nas propriedades praticantes da agricultura familiar. Nesta publicação descreve-se a metodologia empregada em ambas as abordagens e se recomenda uma equação de volume e também, caso seja da preferência do usuário, o método do fator de forma por classe de Hc/DAP, com ressalvas.

Ao apresentar uma equação adequada para quantificar o volume de árvores de florestas secundárias, que sombreiam a erva-mate conduzida sob sistema tradicional, o trabalho tem alinhamento com metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente dos ODS 12 e 15, no que diz respeito à promoção da gestão sustentável das florestas.

Marcelo Francia Arco Verde
Chefe-Geral interino da Embrapa Florestas

Sumário

Introdução	9
Material e métodos	10
Resultados e discussão	15
Considerações finais	24
Referências	24
Anexo A	27

Introdução

Esse trabalho originou-se como apoio ao cumprimento das normas e procedimentos para o manejo florestal em propriedades pertencentes a agricultores familiares e povos indígenas, conforme estabelecido na Portaria nº 470 de 21 de dezembro de 2022, do Instituto Água e Terra, estado do Paraná (Paraná, 2022). Entre as ações normatizadas está o corte de árvores das espécies nativas, sob o limite máximo de 15 m³ por ano, para adequação do dossel ao cultivo de erva-mate em ambiente florestal, assim como para uso do material lenhoso na própria propriedade e sem fins comerciais. Anteriormente à implementação das ações de manejo, os indivíduos arbóreos das diversas espécies a serem suprimidos devem ter seu volume de madeira quantificado, de modo a garantir o atendimento ao valor máximo estabelecido. Ainda, deve-se levar em conta que o volume de árvores a serem suprimidas deve estar distribuído pela propriedade, de forma a não exceder 2 m³ ha⁻¹.

A primeira questão ao se deparar com as árvores a serem derrubadas é sobre como calcular o seu volume de madeira e qual equação e, ou fator de forma gerariam o resultado mais acurado. Os trabalhos contendo equações de volume e, ou fator de forma para as espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista são escassos. Destaca-se o de Figueiredo Filho et al. (2014) que listaram equações de volume para espécies florestais nativas, para cada estado da região Sul. Ainda, tanto no Inventário Florestal do Pinheiro do Sul do Brasil (Fupef, 1978) quanto no Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (Vibrans et al., 2013), foram ajustadas equações de volume. No entanto, sua aplicabilidade para as espécies de florestas secundárias típicas das propriedades familiares que cultivam erva-mate não foram confirmadas.

O cálculo do volume real de madeira das árvores normalmente é feito por meio de equações que são ajustadas para um conjunto específico de dados, espécies, área, região ou tipo de floresta. Como método alternativo e mais simples, pode-se estimar o volume

dos troncos das árvores a partir da equação de volume de um cilindro que, após correção para se aproximar à forma de um tronco, pela aplicação de um fator de forma, resulta em uma estimativa do volume real.

O uso do fator de forma tende a facilitar o trabalho de cálculo, pois algumas equações são logarítmicas, ou requerem transformações que dificultam a sua aplicação pelo público em geral. Assim, considerando a diversidade de espécies e de dimensões das árvores em uma floresta nativa, avaliou-se a possibilidade de adotar fatores de forma por classe de diâmetro à altura do peito (DAP) ou classe de altura comercial por DAP (hc / DAP), para obter resultados mais acurados quanto ao volume comercial de madeira de cada árvore. O presente trabalho objetiva recomendar procedimento para estimar o volume de madeira de árvores nativas da Floresta Ombrófila Mista e com cultivo de erva-mate sombreada, nas propriedades familiares do Paraná e Santa Catarina.

Material e métodos

A base de dados utilizada inclui florestas secundárias avaliadas em 21 propriedades rurais na área de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista, nos municípios de Bituruna, Cruz Machado, Rebouças e São Mateus do Sul, no Paraná e de Campo Alegre, Canoinhas e Irineópolis, no estado de Santa Catarina (Chaimsohn; Souza, 2013). O conjunto de dados gerados para esta publicação e disponibilizados para o presente estudo inclui 2.979 árvores distribuídas em 99 espécies de 40 famílias (Anexo A). Para cada árvore, foram utilizados dados de hc e DAP. Foram excluídos da base de dados os indivíduos das espécies pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) e jerivá (*Syagrus romanzoffiana*), a primeira porque seria necessária uma equação específica e por ser uma espécie considerada ameaçada de extinção; a segunda porque é uma espécie de palmeira cujo tronco não produz madeira e, portanto, não fez parte do conjunto de espécies

abrangidas pela equação. As árvores das diversas espécies avaliadas apresentaram DAP entre 4,8 e 143,2 cm e hc entre 1,0 e 18 m.

A busca por um método adequado para quantificar o volume individual das árvores das diversas espécies consistiu na análise gráfica e numérica do desempenho de equações e de fatores de forma encontrados na literatura científica que foram testados utilizando-se o conjunto de dados mencionado anteriormente. Adotou-se esse procedimento pelo fato de não haver disponível na literatura uma base de dados para espécies nativas submetidas à cubagem rigorosa (método que requer o corte de indivíduos), para comparação com os resultados de equações e fatores de forma.

As equações disponíveis para o cálculo de volume comercial de madeira apresentam, como variáveis independentes, o DAP e a hc, que é a altura do fuste (tronco até onde é possível o aproveitamento da madeira do tronco). Para a avaliação das equações, adotou-se como pressupostos: 1) capacidade de chegar a resultados compatíveis com o esperado, não podendo, por exemplo, gerar valores negativos de volume; 2) representatividade da amplitude de DAP e hc encontradas no conjunto de dados de árvores candidatas à quantificação do volume. A pré-seleção de equações a partir desses dois pressupostos possibilitou a análise mais detalhada do desempenho de cinco equações e, assim, a decisão sobre qual é a mais adequada:

$$v = \exp[0,15495 + 2,14581 \times \ln(DAP) + 0,71915 \times \ln(h_c)] \quad (1)$$

$$v = 0,21613 + 0,00002 \times DAP^2 \times h_c \quad (2)$$

$$v = \exp[-17,96 + 0,96 \times \ln(CAP^2) + 0,76 \times \ln(h_c)] \times 1000 \quad (3)$$

$$v = -0,001 + 0,0001 \times DAP^2 + 0,00004 \times DAP^2 \times h_c + 0,003 \times h_c \quad (4)$$

$$v = -0,0016 + 0,000056 \times DAP^2 + 0,00006 \times DAP^2 \times h_c - 0,00002 \times DAP \times h_c^2 + 0,00025 \times h_c^2 \quad (5)$$

em que v = volume comercial (m^3), DAP = diâmetro a 1,30 m do solo, em cm nas Equações 2, 3 e 4 e em m na Equação 1, h_c = altura comercial (m), CAP = circunferência a 1,30 m (cm), dada por: $DAP \times \pi$ ou 3,14159, ln = logaritmo neperiano e exp = antilogaritmo neperiano.

As Equações 1 e 2 (Fupef, 1978) foram ajustadas a partir de, pelo menos, 100 árvores de cada parcela medida para o Inventário Florestal do Pinheiro no Sul do Brasil, em áreas cobertas por Floresta Ombrófila Mista. Embora não especificado na metodologia empregada, os resultados indicam que as cubagens representaram as 169 espécies encontradas nas 321 parcelas, bem como a amplitude de DAP, variando de 20 a 150 cm. A Equação 1 foi ajustada com dados coletados nas regiões II, III, IV, V e VI (Figura 1), que abrangem a maior parte da área onde ocorre o cultivo de erva-mate sombreada. A Equação 2 foi ajustada com dados coletados nas regiões I, VII e VIII.

As Equações 3 e 4 foram ajustadas com dados de 606 árvores, representativas das espécies observadas nas 143 unidades amostrais da Floresta Ombrófila Mista, em todo o território do estado de Santa Catarina (Vibrans et al., 2013). A amplitude de DAP das árvores que fizeram parte do ajuste de equações é de 10,8 a 82,4 cm.

A Equação 5 foi ajustada com dados de 213 árvores de 77 espécies, cuja amplitude de DAP é de 8 a 45 cm e de h_c de 1,4 a 17,50 m (Silveira, 2008). Esse trabalho foi realizado na Floresta Ombrófila Densa, não se tratando, portanto, da mesma fitofisionomia para a qual se pretende definir uma equação ideal. Considerou-se importante incluir uma equação que, embora não seja da mesma fitofisionomia e não apresente amplitude diamétrica semelhante, atende às condições da pré-seleção, já mencionada.

Além das cinco equações volumétricas, avaliou-se o desempenho de um fator de forma para estimativa do volume das árvores, obtido por Borsoi (2004), para volume comercial com casca para a Floresta Ombrófila Mista, no Rio Grande do Sul. Esse autor determinou um fator de forma de 0,77 a partir de 302 árvores com DAP entre 10 e 80 cm, sendo 57% delas concentradas nas classes até 30 cm.

O fator de forma normal, que é o mais utilizado, consiste na razão entre o volume real da árvore e o volume do cilindro, obtido a partir do

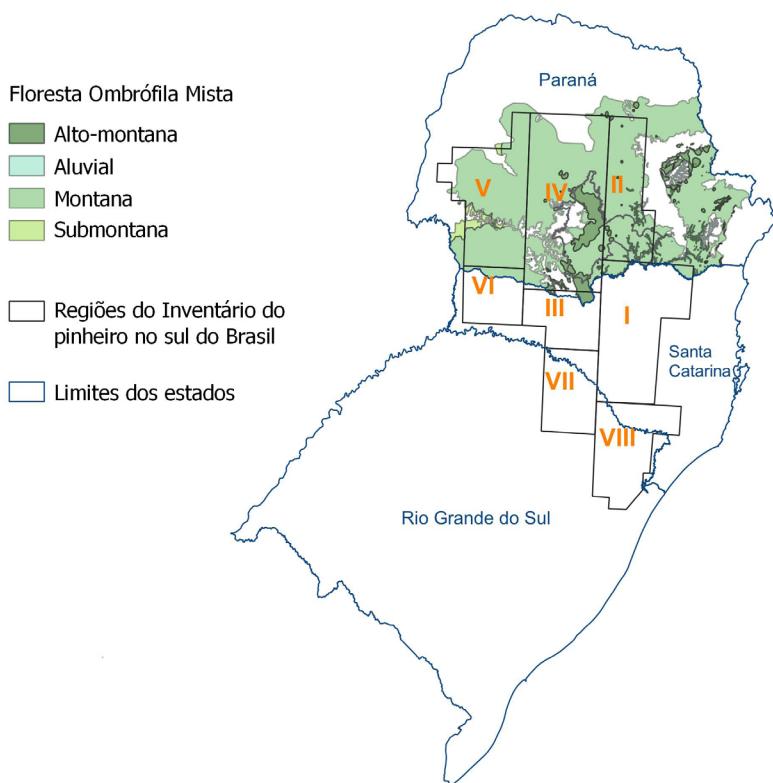


Figura 1. Regiões de amostragem estabelecidas para o Inventário Florestal do Pinheiro no Sul do Brasil, com delimitação da área de Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná; Equação 1 foi ajustada com dados das regiões II, III, IV, V e VI; Equação 2 foi ajustada com dados das regiões I, VII e VIII (Fupef, 1978).

DAP e da altura da árvore (Scolforo; Figueiredo Filho, 1998) representada, nesse estudo, pela altura comercial ou altura do fuste. O volume comercial “real” de madeira da árvore é obtido por cubagem rigorosa, porém, para aproveitar a riqueza da base de dados disponível, bem como por não ser possível cortar árvores nativas para a realização da

cubagem, neste trabalho foi considerado o volume estimado por uma das equações mencionadas anteriormente.

$$f_{1,3} = \frac{v_{real}}{v_{cilindro}} \quad (6)$$

$$v_{cilindro} = \frac{\pi \times DAP^2}{40000} \times h_c \quad (7)$$

em que v_{real} = volume estimado pela equação selecionada (m^3); $f_{1,3}$ = fator de forma considerando o DAP (cm) e h_c = altura comercial (m).

A seleção da equação mais adequada para se obter o volume “real” das árvores foi realizada por meio da avaliação da dispersão de pontos de volume de madeira versus DAP. Também foi considerada a distribuição de pontos do fator de forma em função do DAP. Nesta última relação, espera-se que os pontos se concentrem entre 0 e 1. Eventualmente, alguns valores podem ficar acima de 1, por se tratar de espécies folhosas em que o diâmetro próximo à inserção da copa pode ser ligeiramente maior que o DAP, devido à maior quantidade de galhos. Valores de fator de forma muito discrepantes, calculados a partir do volume “real”, obtido com as quatro equações, foram determinantes para descartar equações, considerando o conjunto de dados.

O uso do fator de forma possibilita calcular, de forma mais rápida, o volume de madeira, sem a necessidade de conversão de variáveis, como no caso de equações logarítmicas. No entanto, é esperado que este não seja tão acurado em florestas naturais, devido à heterogeneidade quanto aos valores de DAP e altura comercial, diversidade de espécies, posição sociológica e dinâmica da floresta, entre outros fatores.

Com o objetivo de obter estimativas mais acuradas e, assim, melhor representar a variabilidade de DAP e altura comercial, buscou-se a correlação entre o fator de forma e a relação h_c/DAP de cada árvore da base de dados. Foi estabelecido o fator de forma médio por classe de h_c/DAP .

O volume de todas as árvores foi calculado novamente considerando estes fatores de forma. A comparação da soma dos volumes de todas as árvores calculada por esse procedimento com aqueles valores gerados pelas equações e, por um fator de forma médio, possibilitou inferir sobre a viabilidade ou não do uso dos fatores de forma por classe de hc/DAP.

Resultados e discussão

A dispersão de pontos dos valores de volume em função de DAP (Figura 2) indica que a Equação 2 (Figura 2B) apresenta resultados muito diferentes das demais, parecendo subestimar o volume, especialmente para DAP maior que 40 cm. As demais equações apresentam estimativas semelhantes de volume para árvores com DAP menor que 80 cm, e diferindo muito para árvores com DAP maior que 1 m, que apresentam pouca representatividade na base de dados.

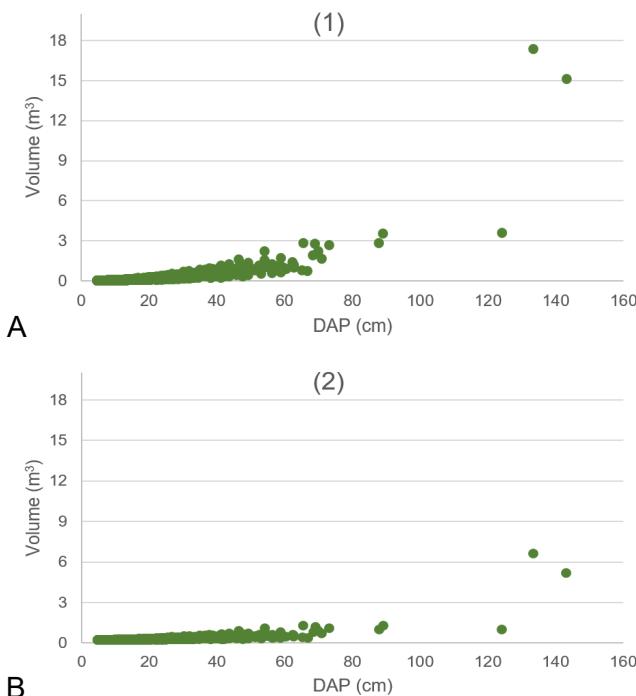
O fator de forma calculado para cada árvore, a partir do volume estimado pelas cinco equações, (Figura 3) mostra que a Equação 2, que já havia apresentado resultado diferente das demais quanto ao volume em função de DAP, apresentou um resultado completamente incompatível quanto ao fator de forma (Figura 3B), com valores superiores a 1 e até superiores a 3, para mais da metade das árvores da base de dados; a Equação 2, portanto, é inadequada. Pelo mesmo motivo, a Equação 4 (Figura 3D) também é inadequada para a base de dados utilizada.

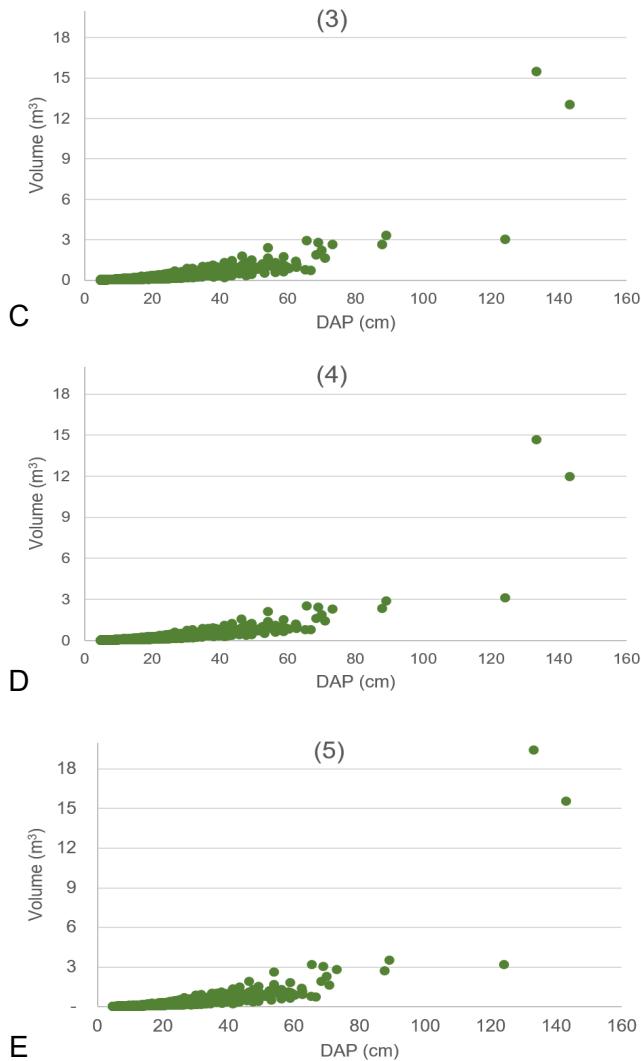
A Equação 3 (Figura 3C), embora tenha gerado uma dispersão de pontos de fator de forma constante e com valores entre 0,6141 e 1,4955, apresentou uma concentração de valores de fator de forma superiores a 1 para as árvores com menores diâmetros, de 5 a 30 cm, o que não é comum.

A amplitude de valores de fator de forma calculados com a Equação 5 é de 0,7180 a 1,3966. Os pontos são bem distribuídos ao longo da amplitude de DAP (Figura 3E). No entanto, essa foi a

única equação que gerou o valor mínimo de fator de forma superior a 0,7, o que pode contribuir para superestimativas entre as árvores de até 40 cm de DAP. Considerando que essa é uma equação ajustada para Floresta Ombrófila Densa e que as demais são para Floresta Ombrófila Mista, havendo outra mais adequada, este é mais um critério para rejeitá-la.

A Equação 1 foi a única que gerou valores de fator de forma entre 0,5161 e 1,2726, de maneira linear ao longo de toda a amplitude diamétrica da base de dados. Entre as cinco equações avaliadas, esta é a recomendada para quantificar o volume de árvores em florestas secundárias.





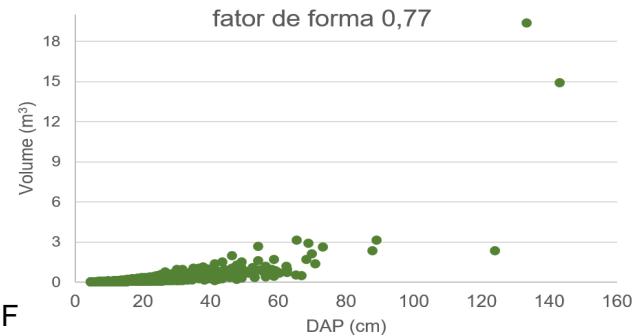
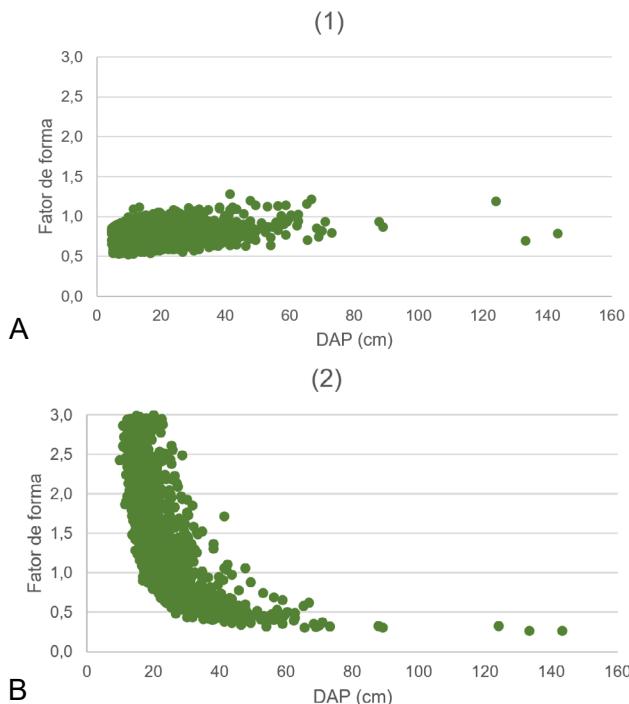


Figura 2. Estimativas de volume de madeira em função do DAP para as equações: 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), 5 (E) e fator de forma de 0,77 (F).



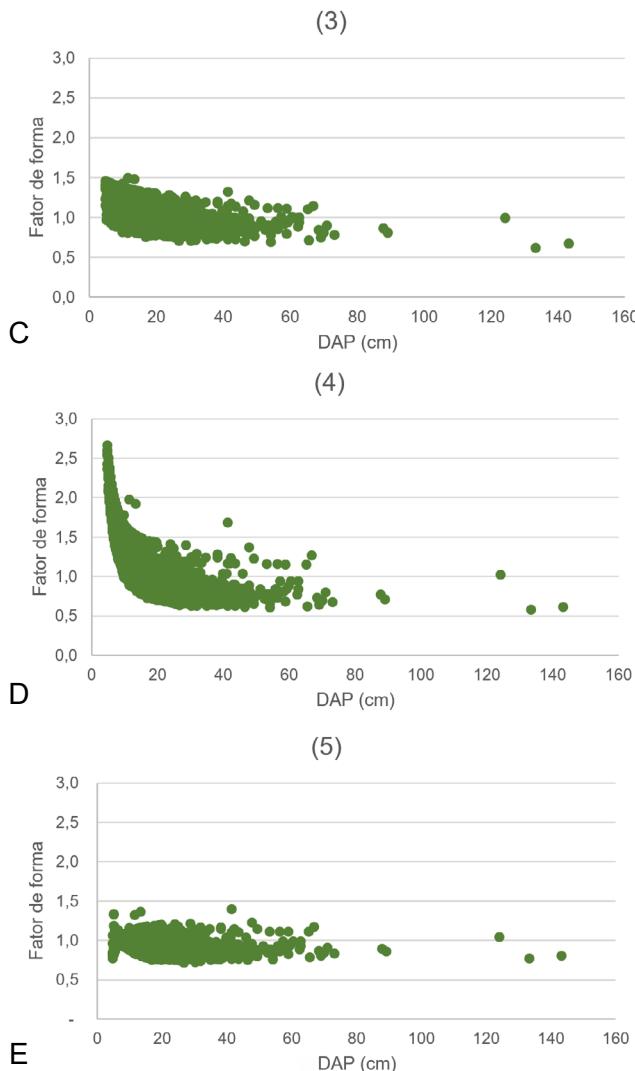


Figura 3. Fator de forma em função de DAP, estimado a partir de volume gerado pelas equações: 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E).

A soma do volume de todas as árvores (Tabela 1) indica que o fator de forma de 0,77, calculado por Borsoi (2004), apresentou um resultado semelhante ao da Equação 1, com uma diferença de 3% em relação ao obtido com a Equação 1. No entanto, conforme apresentado a seguir, o uso de um único fator de forma para todas as árvores pode gerar superestimativas, quando se analisa árvore a árvore, pois a relação hc/DAP apresenta alta correlação com o fator de forma que, por sua vez, exerce influência no valor calculado do volume do fuste.

Tabela 1. Estimativas de volume total de madeira das árvores com base nas quatro equações e com fator de forma de 0,77.

Equação	Volume total (m ³)
1	360,8
2	766,8
3	425,9
4	389,4
5	411,8
Fator de forma 0,77	371,7

A base de dados analisada indicou que há correlação de Pearson significativa entre o fator de forma (calculado a partir do volume das árvores pela Equação 1) e a altura comercial ($r=-0,759080$, $p\text{-valor}=0$), bem como entre o fator de forma e o DAP ($r=0,2126$, $p\text{-valor}=0$). A combinação das variáveis representada na relação hc/DAP indicou correlação significativa e inversa de $-0,8124$ ($p\text{-valor}=0$) com o fator de forma. A Figura 4 ilustra essa observação, mostrando que árvores com maior relação hc/DAP tendem a apresentar menor fator de forma, em uma amplitude de 0,5161 a 1,2726. O valor médio de fator de forma obtido nessa análise foi 0,7558.

Como exemplo, uma árvore com DAP de 43,6 cm e altura comercial de 13 m gera um fator de forma de 0,6409 (hc/DAP=0,298), enquanto outra árvore de mesmo DAP e altura comercial de 6,5 m gera

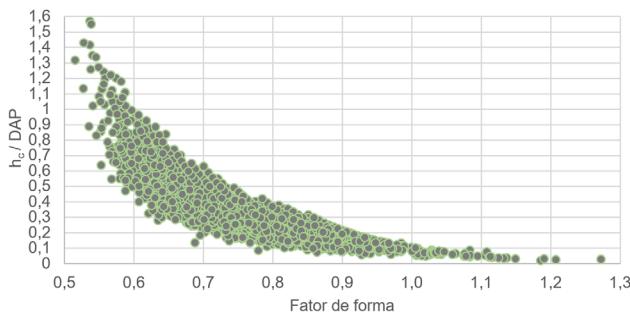


Figura 4. Estimativas de fator de forma em função da relação hc/DAP obtida com base em acervo de dados.

um fator de forma de 0,7787 ($hc/DAP=0,149$). O volume da primeira árvore é $1,244\text{ m}^3$ e o da segunda é $0,759\text{ m}^3$.

A média dos valores de fator de forma por classe de relação hc/DAP , em intervalos de 0,1 (Tabela 2 e Figura 5), mostra valores decrescentes de fator de forma, a partir da relação $hc/DAP<0,1$ até $\geq 1,5$. O volume individual de madeira das árvores da base de dados foi recalculado adotando esses fatores de forma por classe e o resultado foi comparado ao obtido diretamente com a Equação 1 e com o fator de forma médio de 0,7558, já mencionado.

O resultado de volume obtido com os fatores de forma por classe de hc/DAP e com o fator de forma médio de 0,7558, quando comparado ao obtido pela Equação 1, pode gerar a falsa impressão de que o fator de forma médio seria o que gerou o resultado mais acurado e próximo ao obtido com a equação, com uma diferença de apenas 1% (Tabela 3). Entretanto, ao se observar os resultados por classe de hc/DAP , constata-se que as três primeiras classes (relação $hc/DAP<0,3$) — que detêm a maior quantidade de volume, devido à maior quantidade de árvores — são as três classes cujo resultado contribui para que a totalização dos volumes obtidos usando o fator de forma médio se aproxime dos valores obtidos usando a Equação 1.

Ressalta-se que, nas três primeiras classes, onde ocorrem discrepâncias nos resultados dos fatores de forma, estão inclusas 1.359 árvores, o que representa 45,6% do total. A amplitude de DAP para

essas árvores é de 5 cm a 143 cm e, para a altura comercial, é de 1 a 18 m. Considerando que o conjunto de árvores é representativo, entende-se que cerca de 45% das árvores a serem medidas nas propriedades devem ter essa mesma relação hc/DAP.

Tabela 2. Estimativas de fator de forma médio por classe de valor de hc/DAP obtidas com base em acervo de dados

hc/DAP	Fator de forma
< 0,1	0,9871
≥ 0,1 < 0,2	0,8602
≥ 0,2 < 0,3	0,7921
≥ 0,3 < 0,4	0,7393
≥ 0,4 < 0,5	0,6929
≥ 0,5 < 0,6	0,6604
≥ 0,6 < 0,7	0,6369
≥ 0,7 < 0,8	0,6172
≥ 0,8 < 0,9	0,5982
≥ 0,9 < 1,0	0,5911
≥ 1,0 < 1,1	0,5731
≥ 1,1 < 1,2	0,5658
≥ 1,2 < 1,3	0,5601
≥ 1,3 < 1,4	0,5340
≥ 1,4 < 1,5	0,5326
≥ 1,5	0,5380

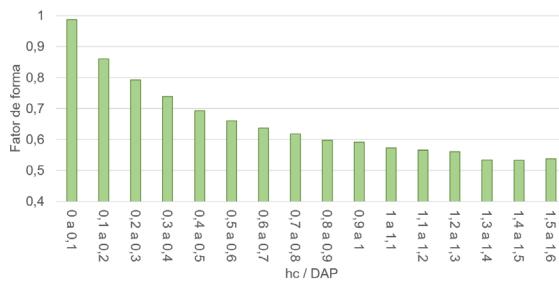


Figura 5. Representação gráfica dos valores de fator de forma em função de classes da relação hc/DAP obtidos com base em acervo de dados.

Nas três primeiras classes de hc/DAP, é mais indicado usar a equação de volume, por gerar resultados mais conservadores, evitando superestimativas. Nas outras classes de hc/DAP, os valores obtidos com a equação de volume e com o fator de forma por classe são muito similares. Entretanto, apesar do potencial do cálculo do volume utilizando-se o fator de forma - que seria a maneira mais

simples, se não fosse necessário considerar as classes de hc/DAP também é mais indicado adotar a equação de volume.

Tabela 3. Volumes totais (m^3) por classe hc/DAP, calculados pela Equação 1 ($Volume_{Eq\ 1}$), por fator de forma médio ($Volume_{FFmédio}$; fator de forma médio = 0,7558) e por fator de forma por classe de hc/DAP ($Volume_{FFclasse}$), obtidos com base em acervo de dados.

Classe de hc/DAP	Volume _{Eq 1}	Volume _{FFclasse}	Volume _{FFmédio}
< 0,1	71,10	77,39	59,26
$\geq 0,1 < 0,2$	110,03	120,77	106,11
$\geq 0,2 < 0,3$	81,21	89,07	84,99
$\geq 0,3 < 0,4$	49,39	53,92	55,13
$\geq 0,4 < 0,5$	23,79	25,51	27,84
$\geq 0,5 < 0,6$	13,17	14,06	16,09
$\geq 0,6 < 0,7$	5,82	6,16	7,30
$\geq 0,7 < 0,8$	3,41	3,55	4,34
$\geq 0,8 < 0,9$	1,53	1,60	2,02
$\geq 0,9 < 1,0$	0,42	0,43	0,55
$\geq 1,0 < 1,1$	0,46	0,46	0,61
$\geq 1,1 < 1,2$	0,22	0,22	0,30
$\geq 1,2 < 1,3$	0,096	0,097	0,13
$\geq 1,3 < 1,4$	0,083	0,084	0,119
$\geq 1,4 < 1,5$	0,036	0,036	0,051
$\geq 1,5$	0,017	0,017	0,024
Total	360,78	393,37	364,86

Considerações finais

As análises apresentadas nesse trabalho possibilitam estabelecer a recomendação da seguinte equação de volume:

$$v = \exp [0,15495 + 2,14581 \times \ln(DAP) + 0,71915 \times \ln(h_c)],$$

em que v = volume comercial (m^3), DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (m), h_c = altura comercial (m), \ln = logaritmo neperiano, \exp = antilogaritmo neperiano, para o cálculo do volume individual de árvores presentes em áreas de Floresta Ombrófila Mista.

Exceptionalmente, o uso do fator de forma, a partir da quarta classe de hc/DAP , passa pelo cuidado de se considerar a combinação entre o DAP e a altura comercial da árvore, representada pela relação entre essas variáveis. O fator de forma pode ser usado, mas requer que se consulte os valores de fator de forma para cada classe, que deve ser multiplicado pelo volume do cilindro.

Referências

BORSOI, G. A. **Subsídios para o manejo de uma Floresta Ombrófila Mista em estágio avançado de regeneração natural**. 2004. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

CHAIMSOHN, F. P.; SOUZA, A. M. de (ed.). **Sistemas de produção tradicionais e agroflorestais de erva-mate no centro-sul do Paraná e norte catarinense**: contribuições para a construção do processo de indicação geográfica. Ponta Grossa: Iapar: Epagri, 2013. 118 p.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; MIRANDA, R. O. V. de, RETSLAFF, F. A. de S. **Compêndio de equações de volume e de**

afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil. Curitiba, 2014. 306 p.

FUPEF (Curitiba, PR). **Inventário florestal do pinheiro no sul do Brasil.** Curitiba, 1978. 327 p.

PARANÁ. Portaria IAP nº 470 de 22 de dezembro de 2022. Licenciamento de agricultores familiares e de membros pertencentes a segmentos de povos e comunidades tradicionais. **Sistemas de Informações Ambientais.** Disponível em: https://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form_cons_ato1.asp?Codigo=5574. Acesso em: 20 fev. 2024.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria florestal:** medição e volumetria de árvores florestais. Lavras: Universidade Federal de Lavras, Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 1998. 310 p.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa.** 2008. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

VIBRANS, A. C.; MOSER, P.; MAÇANEIRO, J. P. de; LINGNER, D. V.; SILVA, L. S. E. Equações hipsométricas, volumétricas e de peso seco para a Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V. (ed.). **Inventário florístico florestal de Santa Catarina.** Blumenau: EDIFURB, 2013. v. 3, p. 95-127.

Anexo A

Tabela A1. Lista de espécies por família, na base de dados utilizada para o ajuste de equações de volume.

Família	Espécie
Anacardiaceae	<i>Lithraea brasiliensis</i> Marchand.
	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi
Annonaceae	<i>Annona rugulosa</i> (Schltdl.) H. Rainer
	<i>Annona sylvatica</i> A.St.-Hil.
Aquifoliaceae	<i>Ilex brevicuspis</i> Reissek
	<i>Ilex dumosa</i> Reissek
	<i>Ilex theezans</i> Mart. (Reissek) Loes.
Asparagaceae	<i>Cordyline dracaenoides</i> Kunth
	<i>Baccharis</i> sp. L.
Asteraceae	<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusén ex Malme
	<i>Vernonia discolor</i> (Spreng.) Less.
Bignoniaceae	<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos
	<i>Jacaranda puberula</i> Cham.
Canellaceae	<i>Capsicodendron dinisii</i> (Schwacke) Occhioni
Celastraceae	<i>Maytenus robusta</i> Reissek
	<i>Monteverdia ilicifolia</i> (Mart. ex Reissek) Biral
Clethraceae	<i>Clethra scabra</i> Pers.
Cunoniaceae	<i>Lamanonia speciosa</i> (Cambess.) L. B. Sm.
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea lasiocoma</i> K. Schum.
Ericaceae	<i>Gomidesia affinis</i> (Cambess.) D. Legrand
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum argentinum</i> O. E. Schulz
	<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.
Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax.
	<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B.Sm. & Downs

Continua...

Tabela A1. Continuação

Família	Espécie
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan
	<i>Dalbergia brasiliensis</i> Vogel
	<i>Lonchocarpus campestris</i> Mart. ex Benth.
	<i>Lonchocarpus</i> sp. Kunth
	<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Vogel
	<i>Machaerium stipitatum</i> Vogel
Lamiaceae	<i>Mimosa scabrella</i> Benth.
	<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão
	<i>Aegiphila sellowiana</i> Cham.
	<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke
	<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez
	Lauraceae (não identificada)
Lauraceae	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees
	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez
	<i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez
	<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez
	<i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer
	<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart.) Barroso
	<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees
	<i>Ocotea</i> sp. Aubl.
	Leguminosae (não identificada)
	<i>Strychnos brasiliensis</i> (Spreng.) Mart.
	<i>Luehea divaricata</i> Mart.
	<i>Miconia hiemalis</i> A.St.-Hil. & Naudin
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.
Moraceae	<i>Morus alba</i> L.

Continua...

Tabela A1. Continuação

Família	Espécie
Myrtaceae	<i>Calypthrantes grandifolia</i> O. Berg
	<i>Calypthranthes concinna</i> (Cambess.) D.Legrand
	<i>Campomanesia guaviroba</i> (DC.) Kiaersk.
	<i>Campomanesia guazumifolia</i> (Cambess.) O. Berg
	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O. Berg
	<i>Curitiba prismatica</i> (D. Legrand) Salywon & Landrum
	<i>Eugenia hyemalis</i> Cambess.
	<i>Eugenia involucrata</i> DC.
	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.
	<i>Eugenia ramboi</i>
	<i>Eugenia</i> sp.
	<i>Eugenia uniflora</i>
	<i>Myrceugenia ovata</i> (Hook. & Arn.) O. Berg
	<i>Myrcia arborescens</i> O. Berg
	<i>Myrcia hatschbachii</i> D. Legrand
Phytolaccaceae	<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.
	<i>Myrcia obtecta</i> (O. Berg) Kiaersk.
	<i>Myrcia rostrata</i> DC.
	<i>Myrcia</i> sp DC.
	<i>Myrcia tijucensis</i> Kiaersk.
	<i>Myrciaria floribunda</i> (H. West ex Willd.) O. Berg
	Myrtaceae (não identificada)
	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine
	<i>Psidium</i> sp. L.
	<i>Seguieria langsdorffii</i> Moq.
Podocarpaceae	<i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex Endl.
	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.
Primulaceae	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.
	<i>Roupala brasiliensis</i> Klotzsch

Continua...

Tabela A1. Continuação

Família	Espécie
Rhamnaceae	<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl. <i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.
	<i>Casearia decandra</i> Jacq.
Salicaceae	<i>Casearia lasiophylla</i> Eichler <i>Casearia obliqua</i> Spreng. <i>Casearia sylvestris</i> Sw.
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil., A.Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl. <i>Cupania vernalis</i> Cambess. <i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.
Scrophulariaceae	<i>Paulownia fortunei</i> (Seem.) Hemsl.
Solanaceae	<i>Solanum granulosoleprosum</i> Dunal <i>Solanum</i> sp. L.
Styracaceae	<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.
Theaceae	<i>Gordonia fruticosa</i> (Schrad.) H. Keng
Verbenaceae	<i>Citharexylum</i> sp L.
Winteraceae	<i>Drimys brasiliensis</i> Miers
Indeterminada	Indeterminada

