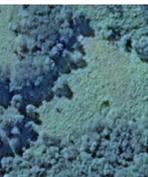
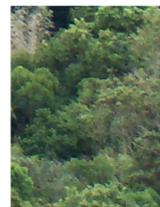
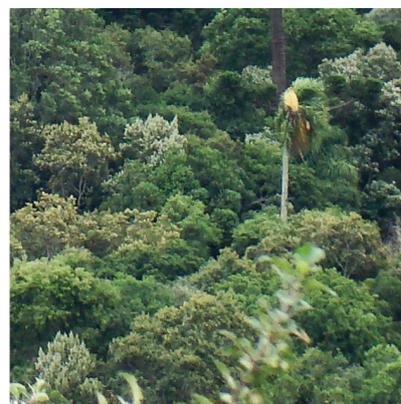
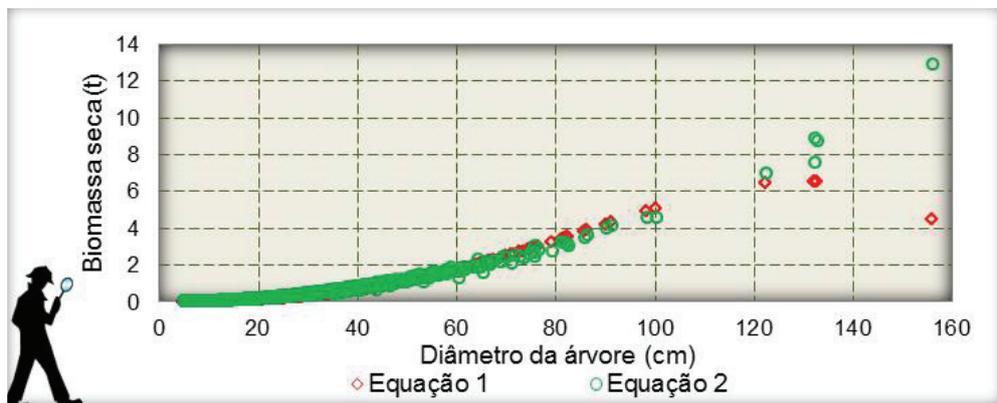


Procedimentos para melhoria da qualidade dos resultados de inventários florestais:

aspectos do processamento de dados



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

DOCUMENTOS 318

Procedimentos para melhoria da qualidade dos resultados de inventários florestais: aspectos do processamento de dados

*Denise Jeton Cardoso
Franciele Alba da Silva
Maria Augusta Doetzer Rosot
Marilice Cordeiro Garrastazú
Yeda Maria Malheiros de Oliveira
Patrícia Póvoa de Mattos
Joberto Veloso de Freitas*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da
Embrapa Florestas

Presidente
Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente
José Elidney Pinto Júnior

Secretário-Executivo
Neide Makiko Furukawa

Membros
*Álvaro Figueredo dos Santos, Gizelda Maia Rego,
Guilherme Schnell e Schühli, Ivar Wendling, Luis
Cláudio Maranhão Froufe, Maria Izabel Radomski,
Marilice Cordeiro Garrastazu, Valderés Aparecida
de Sousa*

Supervisão editorial
José Elidney Pinto Júnior

Revisão de texto
José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica
Francisca Rasche

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Neide Makiko Furukawa

Fotos da capa
Décio Adams

1ª edição
Versão digital (2018)

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)

Nome da unidade catalogadora

Procedimentos para melhoria da qualidade dos resultados de
inventários florestais: aspectos do processamento de dados.
[recurso eletrônico] / Denise Jeton Cardoso ... [et al.]. - Colombo :
Embrapa Florestas, 2018.

36 p. : il. color. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-
3958 ; 318)

Modo de acesso: World Wide Web:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

1. Gestão florestal. 2. Levantamentos. 3. Manejo florestal. 4.
Recursos florestais. 5. Comunicação e informação. I. Cardoso, Denise
Jeton. II. Silva, Franciele Alba da. III. Rosot, Maria Augusta Doetzer. IV.
Garrastazú, Marilice Cordeiro. V. Oliveira, Yeda Maria Malheiros de. VI.
Mattos, Patricia Póvoa. VII. Freitas, Joberto Veloso de. VIII. Série.

CDD (21. ed.) 634.9285

Autores

Denise Jeton Cardoso

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

Franciele Alba da Silva

Engenheira Florestal, mestranda, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Maria Augusta Doetzer Rosot

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

Marilice Cordeiro Garrastazu

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

Yeda Maria Malheiros de Oliveira

Engenheira Florestal, doutora em Ciências Florestais, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Patricia Póvoa de Mattos

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

Joberto Veloso de Freitas

Engenheiro Florestal, doutor em Manejo Florestal, Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, DF

Apresentação

Este trabalho aborda as fases que antecedem o processamento dos dados de um inventário florestal. Seu objetivo é fornecer subsídios para melhorar a qualidade e a precisão das informações e do resultado final. Para isto, são apresentados procedimentos técnicos e práticos, que nem sempre são divulgados.

Para fins ilustrativos, considerou-se o conjunto de dados de unidades amostrais de florestas nativas e plantadas, obtido em 2016 no município de Caçador, Santa Catarina, onde foi realizado o primeiro inventário florestal municipal, no âmbito do Inventário Florestal Nacional (IFN-BR).

O trabalho inclui uma metodologia para a identificação de inconsistências presentes na base de dados e equações para estimar volume e biomassa aérea das árvores. Também aborda procedimentos para processar e analisar dados, incluindo análise estatística para amostragem em conglomerados com áreas desiguais.

Espera-se que essas informações sejam de utilidade como guia prático para técnicos e estudantes, durante o processamento e geração de resultados de um inventário florestal.

Sérgio Gaiad

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Introdução	9
Erro amostral e erro não amostral	10
Caracterização dos dados	11
Descrição do uso e cobertura da terra	11
Consistência dos dados	11
Método da verificação visual	12
Método da relação h/d	12
Seleção de equações volumétricas	14
Florestas naturais.....	15
Equações volumétricas para todas as espécies	15
Equações volumétricas para <i>Araucaria angustifolia</i>	18
Florestas plantadas	19
Equações volumétricas para <i>Pinus taeda</i>	19
Equações volumétricas para <i>Eucalyptus grandis</i>	21
Seleção de equações alométricas	23
Florestas naturais.....	23
Equações alométricas para todas as espécies da Floresta Ombrófila Mista exceto <i>xaxim</i> e <i>jerivá</i>	23
Equações alométricas para <i>Dicksonia sellowiana</i>	24
Equação alométrica para <i>Syagrus romanzoffiana</i>	26
Florestas plantadas	27
Equações alométricas para <i>Pinus taeda</i>	27
Quantificação de biomassa de <i>Pinus taeda</i> por equação de volume e densidade da madeira	28
Comparativo entre os dois procedimentos para quantificação de biomassa de <i>Pinus taeda</i>	29
Equação alométrica para <i>Eucalyptus grandis</i>	29
Quantificação de biomassa de <i>Eucalyptus grandis</i> por equação de volume e densidade da madeira	29
Comparativo entre os dois procedimentos para quantificação de biomassa de <i>Eucalyptus grandis</i>	30
Processamento dos dados e análise preliminar dos resultados	31
Análise estatística da amostragem	31
Conglomerados de áreas desiguais	32
Considerações finais.....	34
Agradecimentos	34
Referências	35

Introdução

O conceito de inventário florestal remete à necessidade de informações de boa qualidade e, portanto, que tenham confiabilidade. Tais informações devem viabilizar os mais variados projetos, desde a criação ou modificação de políticas públicas para a conservação de florestas nativas (ou para o incentivo a florestas plantadas) até o planejamento operacional de plantio e colheita por empresas que utilizam florestas plantadas.

[...] O objetivo de um levantamento florestal é caracterizar a estrutura, a composição e a quantidade e a qualidade de recursos de uma floresta na forma de estimativas que possam ser associadas à área dessa floresta, isto é, à região do espaço ocupado pela floresta. O conhecimento da floresta como região do espaço e a obtenção de estimativas confiáveis são indissociáveis. (Batista et al., 2014).

Em qualquer categoria de inventário florestal, a sua concreta realização como ferramenta de obtenção de base de dados para planejamento está intimamente relacionada com o desenvolvimento do setor florestal do país, da região, do município ou da empresa. No Brasil, a maioria das empresas do setor florestal tem buscado a excelência quanto à geração de resultados sobre a quantificação de volume de madeira, bem como a avaliação de crescimento das florestas plantadas e consideram o inventário florestal como a base para estabelecer o planejamento estratégico, tático e operacional. Entretanto, geram informações pontuais exclusivamente das suas áreas de florestas comerciais que não podem ser extrapoladas, não havendo uma visão do todo e tampouco um conhecimento maior sobre as florestas naturais que fazem parte dos complexos florestais.

A participação das empresas florestais na manutenção e conservação de florestas naturais é significativa. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2016), para cada hectare de florestas plantadas, outro 0,7 hectare é destinado à preservação ambiental. Estima-se que há 50 milhões de hectares de habitat natural preservados no Brasil. Desses, e fora das unidades de conservação, aproximadamente 14% são de responsabilidade das empresas florestais (Indústria Brasileira de Árvores, 2016).

No sentido de monitorar a dinâmica da cobertura florestal e mesmo da influência antrópica, a realização de inventários florestais em níveis federal e estadual, vem acontecendo efetivamente desde 2009. Entre as respostas que estes trabalhos devem gerar estão as condições de conservação e de composição de espécies em cada bioma, bem como a interação da população com os produtos das florestas. No longo prazo pretende-se estabelecer uma periodicidade de medições, que permita acompanhar as mudanças nos componentes avaliados.

No município de Caçador, SC, foi realizado o primeiro inventário florestal municipal no âmbito do Inventário Florestal Nacional (IFN-BR), coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB). Além de testar o modelo e informações geradas para fornecer subsídios à gestão local, teve também por objetivo gerar informações à gestão do Bosque Modelo Caçador, criado em 2013. Este levantamento fez parte do Plano Estratégico do Bosque Modelo e seus resultados devem contribuir para identificar a cultura, os produtos, os costumes e os serviços locais de Caçador, bem como promover o uso e a conservação da Floresta Ombrófila Mista (Rosot et al., 2013).

Em inventários florestais normalmente adotam-se procedimentos de amostragem, cujos resultados estão sujeitos a um erro denominado erro amostral, que ocorre por não ter sido medida toda a população. Calcula-se o erro amostral considerando-se a média e o erro padrão das unidades amostrais com fórmulas específicas para cada processo de inventário, seja ele aleatório, estratificado, sistemático ou sistemático em conglomerados. Entretanto, existem também os erros não amostrais,

de quantificação difícil ou mesmo impossível pelo fato de serem gerados de diferentes formas, podendo ocorrer desde a instalação e medição das parcelas até o processamento dos dados das parcelas.

Durante a fase de processamento dos dados do levantamento das florestas de Caçador, detectou-se a importância de documentar os passos que se deve seguir até chegar, efetivamente, na aplicação de um software específico para o processamento de inventários florestais. Esses passos envolvem o conhecimento sobre os possíveis erros que as diversas etapas do inventário estão sujeitas, a preparação dos dados para processamento e a definição de equações para estimar as variáveis de interesse.

Com o objetivo de minimizar possíveis erros que podem ocorrer na fase de digitação e tratamento dos dados, este trabalho apresenta procedimentos para o processamento de dados de inventário florestal em conglomerados, utilizando como exemplo os dados do inventário realizado no município de Caçador, SC. Buscou-se estabelecer procedimentos para avaliar a consistência dos dados, antes de processá-los em um software específico. Além disso, foi indicado o procedimento para seleção de equações alométricas e volumétricas, quando não se pode ajustar equações próprias e, também, a sequência de cálculos para executar a análise estatística de uma amostragem sistemática, em conglomerados com áreas desiguais.

Erro amostral e erro não amostral

Todo levantamento por amostragem está sujeito ao erro amostral, gerado por estar sendo medida somente parte da população. O erro amostral deve ser calculado, sendo aceitável, em geral, limite de erro de 10% para uma probabilidade de 5%. Assume-se que a média da variável de interesse obtida na amostragem representa a população, havendo um intervalo de confiança, calculado considerando-se o erro amostral. Os dados da amostragem, porém, também estão sujeitos a erros não amostrais, que podem ser aleatórios ou sistemáticos, nas diferentes fases do trabalho, desde a medição até o processamento.

Como exemplo de erros aleatórios, durante a medição, pode-se citar a tomada de medição de diâmetro em uma árvore acima ou abaixo de 1,30 m, que seria a altura convencional, a leitura incorreta na fita métrica, ou mesmo a anotação errada no formulário de campo. A instalação inadequada da unidade amostral, que resulta em um valor incorreto para a área, também pode gerar um erro aleatório.

As medições de árvores em toda uma parcela ou em várias parcelas com um instrumento não calibrado e fita métrica ou trena com defeito, são exemplos de erros sistemáticos. Enfim, tais problemas podem ser corrigidos com auditorias de qualidade da medição, com participação de equipe diversa e que se utiliza de indicadores de avaliação pré-definidos. É sorteada uma porcentagem de parcelas para visita dessa segunda equipe.

Os erros não amostrais causados durante o processamento são mais difíceis de serem detectados; referem-se, por exemplo, a equações alométricas, volumétricas ou hipsométricas selecionadas da literatura e que podem não representar bem a área que está sendo inventariada. Também a não verificação de pontos *outliers* (que se apresentam muito distantes dos demais pontos) na relação entre diâmetro e altura pode levar a *bugs* durante o processamento.

Alguns procedimentos descritos a seguir, podem minimizar os erros não amostrais na fase de processamento e são imprescindíveis para se conhecer a base de dados a ser trabalhada e, assim, obter resultados mais precisos.

Caracterização dos dados

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes do inventário florestal realizado no município de Caçador. Este é o maior município do meio oeste do estado de Santa Catarina, onde a fitofisionomia predominante é a de Floresta Ombrófila Mista, ocupando 28.371,13 ha (Santa Catarina, 2005).

Foram instalados e medidos 35 conglomerados, em um grid de 5 km x 5 km abrangendo toda a área do município. Cada conglomerado é composto de quatro subunidades de 1000 m² dispostas em forma de cruz de malta. Cada subunidade está dividida em 10 subparcelas de 100 m², havendo um controle da localização dos indivíduos medidos nesse nível, além de outras informações obtidas nessa subdivisão (Serviço Florestal Brasileiro, 2015). O inventário teve por objetivo a quantificação de biomassa e carbono das florestas e análise fitossociológica, gerando resultados sobre a quantidade e a qualidade das florestas no município.

Descrição do uso e cobertura da terra

Em geral, quando se planeja realizar um inventário florestal, dispõe-se do mapa da área coberta por floresta, onde são plotadas as parcelas, aleatória ou sistematicamente. No inventário de Caçador foi adotado o procedimento do IFN-BR, em que os conglomerados são dispostos sistematicamente em um grid, sem a estratificação prévia de área com ou sem floresta. Por isso a descrição das classes de cobertura e uso da terra é necessária para processar os conglomerados com a área correta ocupada por florestas.

A classificação de cobertura e uso da terra é, primeiramente, realizada em campo, seguindo a classificação estabelecida por Serviço Florestal Brasileiro (2015). Posteriormente é quantificada a área que cada classe possui dentro de cada subunidade do conglomerado, considerando a contagem das subparcelas de 10 m x 10 m em que a classe de cobertura é anotada.

Ao processar os dados de cada conglomerado, uma, algumas ou todas as subunidades poderão ter menos de 1.000 m² ocupados por florestas, conforme as informações apontadas nos formulários de campo. Assim, o cálculo da média das quatro subunidades é feito com os valores de volume, biomassa, número de árvores e área basal já extrapolados para uma unidade padrão, no caso o hectare. Este resultado poderá ser extrapolado para a área total de florestas naturais do município de Caçador, que foi quantificada previamente ao inventário.

Consistência dos dados

Denomina-se consistência dos dados a primeira análise dos dados em meio digital, com vistas a identificar qualquer valor numérico ou qualitativo discrepante, que possa comprometer o resultado

do processamento. Nesta etapa, os dados foram conferidos e corrigidos, podendo, entretanto, ainda haver dados em inconformidade.

A consistência dos dados pode ser feita pela verificação visual do arquivo de dados digitais, bem como pela análise de gráficos de dispersão e pela relação entre altura e diâmetro a 1,30 m do solo (h/d).

Após a identificação de inconsistências, os valores presentes no arquivo digital devem ser conferidos com os registrados nos formulários de campo.

Método da verificação visual

Na verificação visual dos dados busca-se identificar inconsistências mais facilmente visualizáveis na planilha. Essa fase consiste em verificar o número de fustes por árvore, a numeração dos indivíduos dentro de cada subparcela, altura total e altura do fuste.

Método da relação h/d

A avaliação da relação h/d permite verificar a desproporcionalidade da variável altura (h) e diâmetro à altura do peito (d) para cada árvore. A relação h/d é também conhecida em estudos de morfometria como grau de esbeltez, que possibilita caracterizar a estabilidade das árvores (Durlo; Denardi, 1998); quanto mais alto é o grau de esbeltez, mais instável é a árvore. O grau de esbeltez é muito utilizado como indicador de competição em povoamentos com desbaste em atraso, principalmente em povoamentos homogêneos equiâneos. Tonini e Arco Verde (2005) consideram que uma relação h/d superior a 1 em florestas plantadas pode indicar a necessidade de desbaste, pois indica que o crescimento em diâmetro é reduzido em relação à altura.

O método da relação h/d consiste em verificar os dados de duas maneiras: análise do gráfico de dispersão de altura em função do diâmetro e análise da distribuição de frequência de árvores por classe de valor h/d . Ambos os gráficos se complementam.

No gráfico de dispersão dos dados de altura em função do diâmetro (Figura 1a), os pontos em vermelho indicam indivíduos com relação h/d muito diferente dos demais, que podem representar o comportamento atípico de uma espécie, árvores quebradas, brotações de uma árvore cortada ou mesmo um erro de anotação ou digitação. Uma observação mais detalhada (Figuras 1b, 1c e 1d) pode indicar que outras árvores, além daquelas já marcadas, também devem ser revisadas, pois apresentam características semelhantes. Neste caso, o melhor é agrupar os pontos por espécie e analisar primeiramente as características morfológicas do fuste de cada uma, pois pode se tratar de uma característica própria daquela espécie, e não uma inconsistência de dados.

A análise dos valores de h/d para os dados do inventário avaliados neste trabalho indicou média (\bar{y}) de 0,578 e desvio padrão (s) de 0,289 para um total de 5.660 árvores amostradas, com diâmetros entre 5 cm e 156 cm, sendo representado na Figura 2 o histograma de frequência por classe de relação h/d . Observou-se a ocorrência de cerca de 400 árvores com valores acima de 0,993 e 184 árvores com valores abaixo de 0,124. Assumiu-se que estes dados, por representarem as classes de DAP com menor quantidade de árvores ($\bar{y}-2s$, $\bar{y}+2s$ e $\bar{y}+3s$), deveriam compor o conjunto a ser revisado, por apresentarem características diferenciadas das demais árvores.

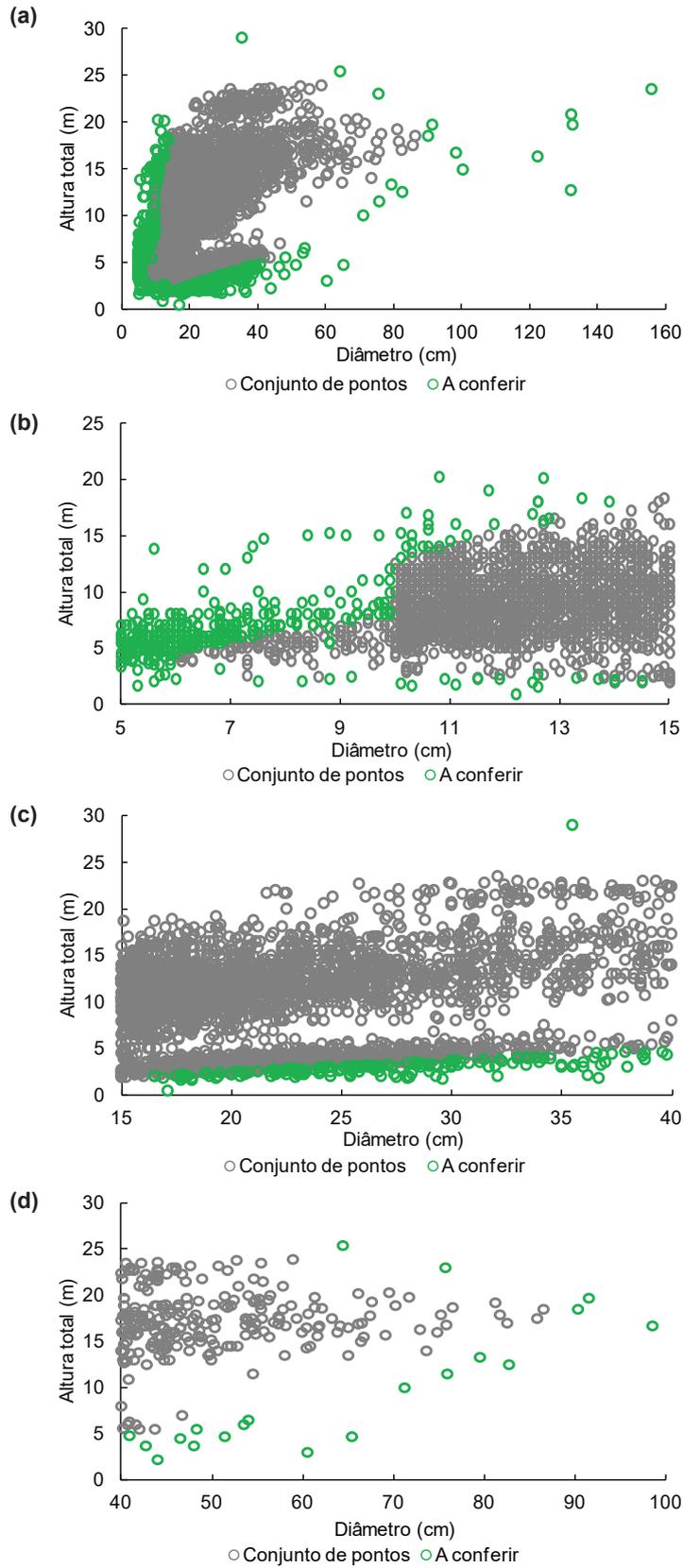


Figura 1. (a) Dispersão de diâmetro e altura das árvores medidas em Floresta Ombrófila Mista; (b) zoom para diâmetros de 5 cm a 15 cm; (c) zoom para diâmetros de 15 cm a 40 cm e; (d) zoom para diâmetros de 40 cm a 100 cm.

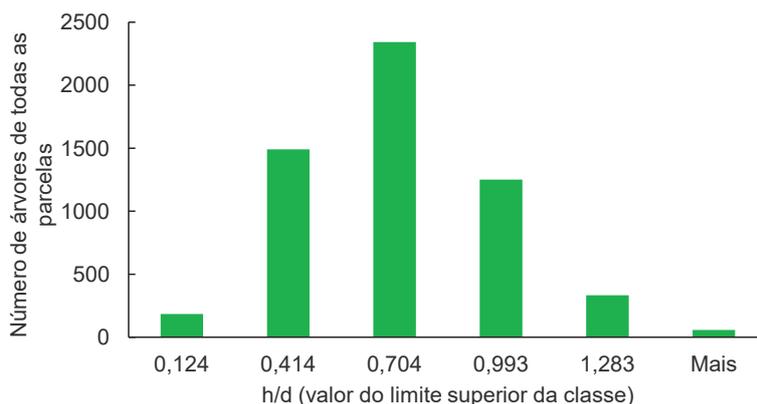


Figura 2. Histograma de frequência de árvores por classe de relação h/d , para as árvores medidas em Caçador, SC.

Indivíduos que possuem altura total considerada pequena e diâmetro elevado resultam em valores com uma baixa relação h/d . Esse é o caso de *Dicksonia sellowiana* (xaxim), cujos indivíduos apresentaram valores de h/d entre 0,049 e 0,605, para amplitude de diâmetro entre 10,4 cm e 54 cm e de altura entre 1,6 m e 16,5 m. Há que se considerar que o xaxim é uma pteridófito, uma samambaia arborecente, ou seja tem porte de árvore, mas relação h/d típica. A altura total e o diâmetro dos 584 indivíduos foram conferidos nos formulários de campo, observando também o número anotado para qualidade do fuste, pois, caso fosse referente a um fuste quebrado, esse resultado seria esperado.

Os indivíduos com altura total elevada e diâmetro pequeno resultaram em valores altos de h/d , conforme verificado para 20 árvores de *Mimosa scabrella*, *Piptocarpha angustifolia*, *Weinmannia paulliniifolia* (característica de sub-bosque), *Zanthoxylum rhoifolium* (jerivá) e outras, que apresentaram h/d superior a 1,5, para diâmetro entre 5,2 cm e 12,7 cm e altura entre 8 m e 20,2 m. Para esse procedimento é importante considerar quais espécies apresentaram esses valores e buscar suas características na literatura.

Seleção de equações volumétricas

O uso de equações matemáticas publicadas em periódicos e livros para estimar variáveis de difícil medição como a altura, volume e biomassa é uma opção viável quando não é possível coletar dados para ajustar equações próprias para um determinado inventário, como ocorreu no inventário de Caçador, SC. Assim, buscou-se na literatura equações que se adequassem e fornecessem estimativas dessas variáveis de forma coerente para o município de Caçador, abrangendo a fitofisionomia de Floresta Ombrófila Mista e florestas plantadas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.

A compatibilidade entre as amplitudes de diâmetro e altura do conjunto de dados inventariados e das cubagens utilizadas no ajuste é um dos critérios de seleção da equação volumétrica mais adequada; tais amplitudes devem ser o mais semelhante possível, de tal forma que a equação possa representar a variabilidade observada nas parcelas do inventário. Sempre que possível deve-se escolher equações do mesmo local, ou oriundas de locais com condições edafoclimáticas semelhantes, de mesma fitofisionomia e, no caso de florestas plantadas, de mesma espécie, idade, espaçamento inicial e regime de desbaste, quando disponíveis tais informações.

O comparativo da dispersão de pontos de volume por árvore em função do diâmetro para as equações avaliadas, entre diferentes equações, também é um bom indicativo da equação a escolher. Na

maioria das vezes, é melhor optar por aquela com resultados mais conservadores. E na dúvida, o gráfico do fator de forma – calculado pela divisão do volume calculado com a equação pelo volume do cilindro calculado em função do diâmetro (a 1,30 m do solo) é decisivo, pois quase sempre as equações que apresentam distribuição mais concentrada, sem pontos muito distantes dos demais, são as que geram melhores resultados.

Florestas naturais

Equações volumétricas para todas as espécies

O volume de madeira constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento da estrutura de uma floresta. Para as florestas naturais, em geral, as variáveis independentes utilizadas para estimar o volume do fuste são o diâmetro (a 1,30 m do solo) e a altura do fuste.

As equações volumétricas que constam na Tabela 1 foram testadas para árvores de todas as espécies nos fragmentos nativos, exceto para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze por possuir característica muito distinta das demais espécies requerendo, portanto, uma equação diferenciada.

Tabela 1. Equações testadas para a estimativa do volume do fuste em Floresta Ombrófila Mista.

Nº	Equação	R ² aj.	Sxy (%)
1	$V_f = 0,04 + 0,0001 \times (d^2 \times H_f)$	0,92	17,66
2	$V_f = - 0,001 + 0,0001 \times d^2 + 0,00004 \times (d^2 \times H_f) + 0,003 \times H_f$	0,94	15,57
3	$\ln V_f = - 8,81 + 0,91 \ln(d^2 \times H_f)$	0,93	14,58
4	$\ln V_f = - 8,87 + 1,91 \ln d + 0,76 \ln H_f$	0,94	13,74
5	$V_f = 0,05 + 0,0003 \times d^2$	0,77	29,98
6	$V_f = - 0,15 + 0,01d + 0,0002 \times d^2$	0,78	29,26
7	$\ln V_f = - 3,85 + 0,83 \log d + 0,33 \times \frac{1}{d}$	0,94	13,74
8	$\ln \frac{V_f}{1000} = 17,96 + 0,96 \ln CAP^2 + 0,763 \ln H_f$	0,94	2,02

Modelos ajustados para $10,8 < d < 76,7$ cm, onde: \ln = logaritmo natural, V_f = volume do fuste (m³), d = DAP (diâmetro à altura do peito (cm)), CAP = circunferência à altura do peito (cm), H_f = altura do fuste, até o primeiro galho (m), R^2 aj. = coeficiente de determinação ajustado, Sxy (%) = erro padrão da estimativa em percentagem.

Fonte: Vibrans et al. (2013).

A dispersão de pontos que representam o volume estimado em função do diâmetro (Figura 3a) indica que a equação 1 superestima o volume, em especial para árvores com diâmetro superior a 80 cm, enquanto a equação 6 estima valores negativos para árvores com diâmetro inferior a 12 cm; portanto, ambas podem ser descartadas para este conjunto de dados. As equações 5 e 7 também foram eliminadas por subestimarem o volume ao longo de toda a amplitude de diâmetros, a primeira com comportamento semelhante ao da equação 6, embora sem valores negativos e a segunda com os valores mais baixos estimados entre todas as equações, possivelmente porque não considera a altura do fuste como variável dependente; também a relação entre diâmetro e volume dos dados utilizados para desenvolvimento deste modelo não é a mesma encontrada nos conglomerados do inventário de Caçador.

As equações 2, 3, 4 e 8 apresentaram resultados semelhantes com a amplitude diamétrica subdividida em duas partes (Figuras 3b e 3c). A seleção da melhor equação foi feita a partir da análise da plotagem do fator de forma em função do diâmetro, para cada uma das equações (Figura 4). Pode-se observar que os valores resultantes da equação 3 apresentam uma tendência mais concentrada (entre 0,75 e 1,25), enquanto as demais equações geraram valores mais dispersos. Portanto, embora as quatro tenham apresentado resultados semelhantes, neste caso optou-se pela equação 3.

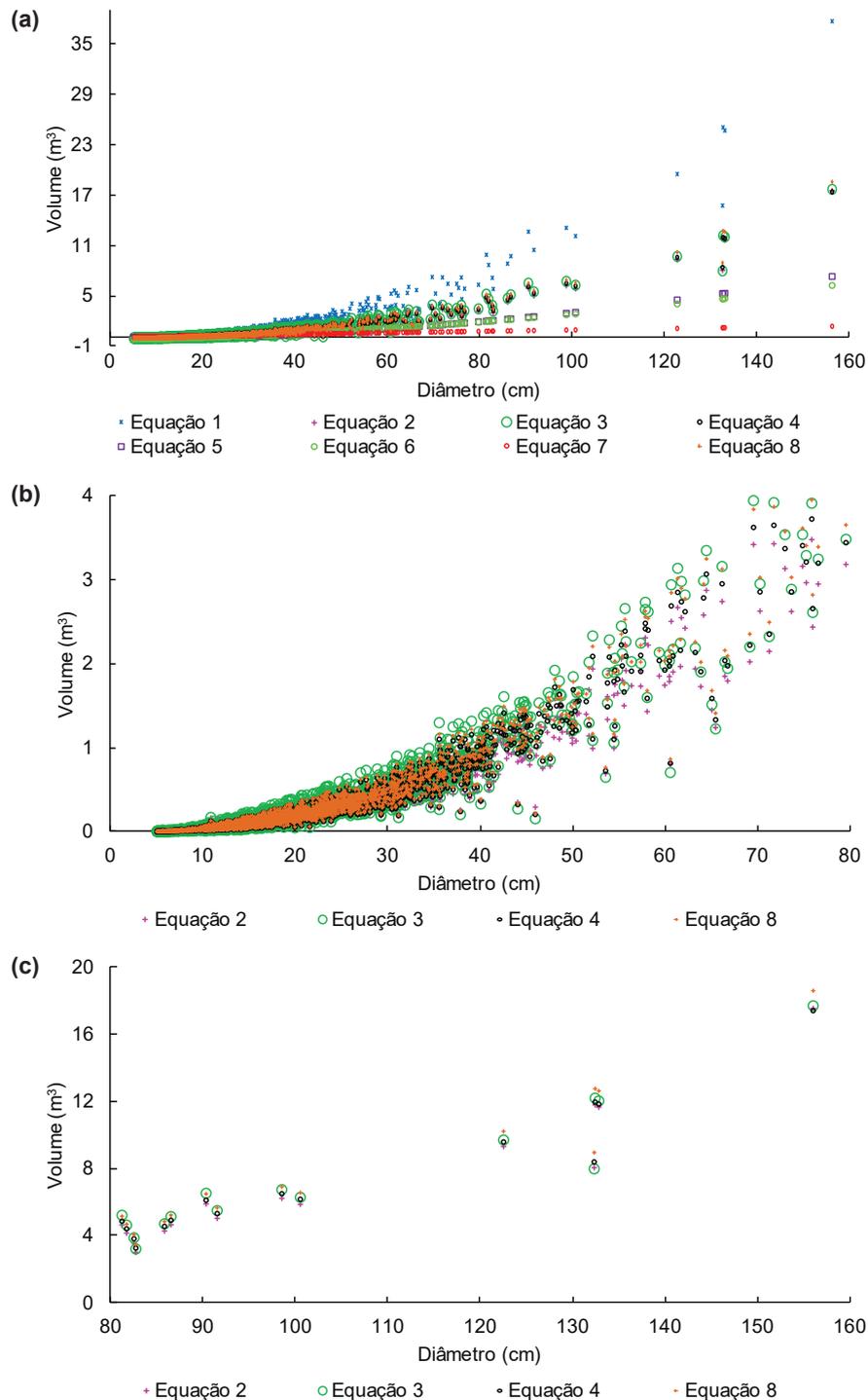


Figura 3. (a) Volume estimado por árvore em função do diâmetro para Floresta Ombrófila Mista; (b) detalhe das equações 2, 3, 4 e 8, diâmetro < 80cm; (c) detalhe das equações 2, 3, 4 e 8, diâmetro > 80 cm.

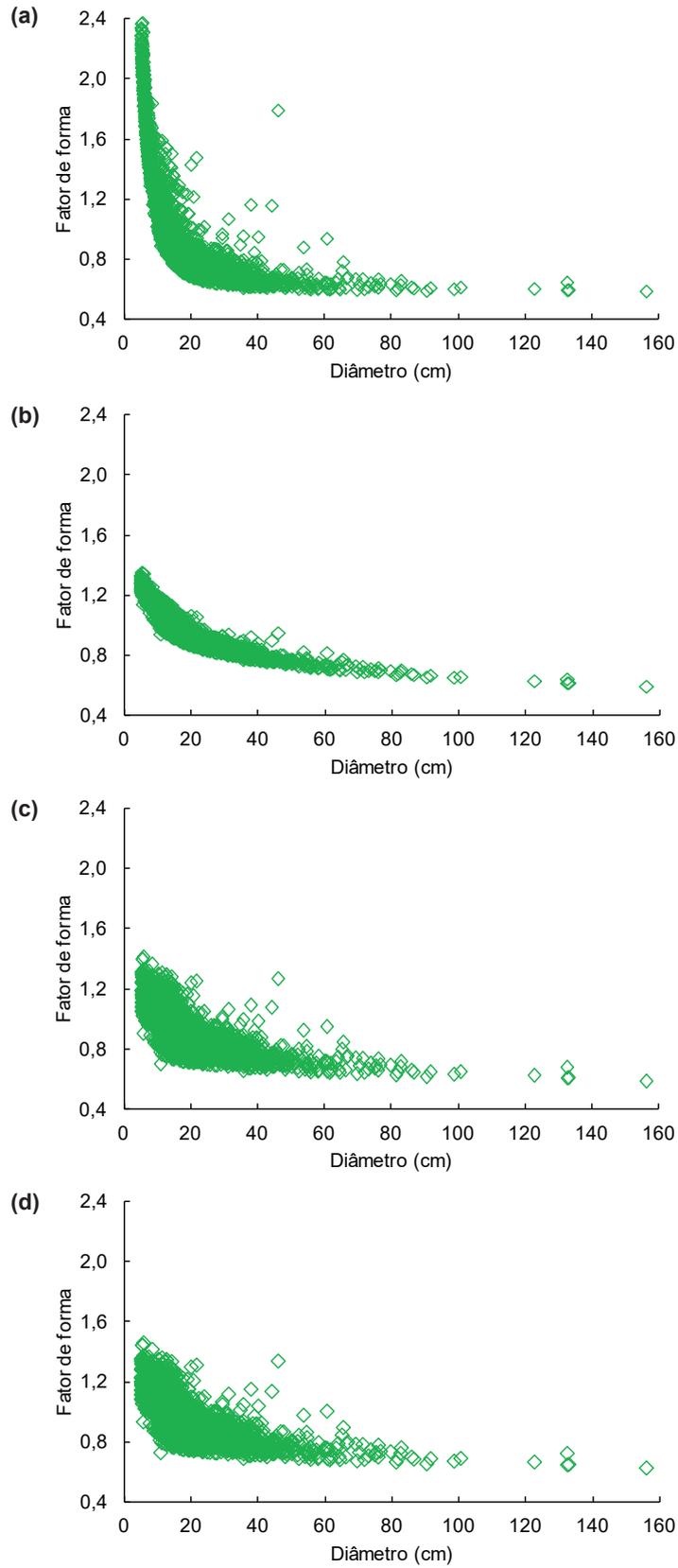


Figura 4. Fator de forma para as espécies da Floresta Ombrófila Mista, calculado pela divisão do volume estimado usando a equação pelo volume do cilindro, considerando o DAP: (a) equação 2; (b) equação 3; (c) equação 4; e (d) equação 8.

Equações volumétricas para *Araucaria angustifolia*

Considerando as características da espécie *Araucaria angustifolia*, muito diferente das demais espécies da Floresta Ombrófila Mista quanto à forma do fuste e quanto à copa, e também devido à grande quantidade de equações publicadas para esta espécie, foram selecionadas quatro equações que abrangem grande parte da amplitude diamétrica verificada nas parcelas, pois não foi encontrada uma equação que abrangesse a sua totalidade (Tabela 2). Além disso, três das equações selecionadas foram ajustadas para florestas plantadas de araucária e foram consideradas nas análises, a título ilustrativo, pois não foram encontradas equações ajustadas para araucária em floresta natural, em quantidade suficiente para realizar os comparativos.

Tabela 2. Equações volumétricas testadas para estimativa do volume total do fuste com casca para *Araucaria angustifolia*.

Nº	Equação	R ² aj.	R ²	Sxy (%)	Fonte	Restrições
9	$V_f = -0,025284 + 0,0000486614 \times (d^2 \times H_f)$	-	0,99	11,01	Siqueira (1977)	$d > 20$
10	$V_f = -0,0111 + 0,0006 \times d^2$	-	0,94	22,69	Oliveira et al. (2011)	$6,6 \text{ cm} < d < 45$ $7,3 < H_t < 23,1$
11	$V_f = H_t (-0,00089 + 0,000174 \times d + 0,0000374 \times d^2)$	0,99	-	0,33	Santos (2006)	$5,7 < d < 41,6$
12	$\text{Ln } V_f = -10,0675 + 1,8735 \text{ Ln } d + 1,0211 \text{ Ln } H_t$	0,99	-	8,54	Oliveira et al. (2011)	$6,6 < d < 45$ $7,3 < H_t < 23,1$

Ln = logaritmo natural, Vf = volume do fuste (m³); d = DAP (diâmetro a 1,30 m do solo (cm)); Ht = altura total (m), R² = coeficiente de determinação, R²aj. = coeficiente de determinação ajustado, Sxy (%) = erro padrão da estimativa em percentagem.

Para árvores com diâmetro até 25 cm, as quatro equações avaliadas parecem gerar estimativas semelhantes de volume individual, enquanto no intervalo entre 25 cm e 50 cm, cada equação assume um comportamento diferenciado quanto às estimativas, o que se torna nítido para diâmetros superiores a 50 cm (Figura 5). Tais diferenças representam 44% a 49% entre o menor e o maior valor estimado com as quatro equações para árvores com diâmetro entre 50 cm e 61 cm.

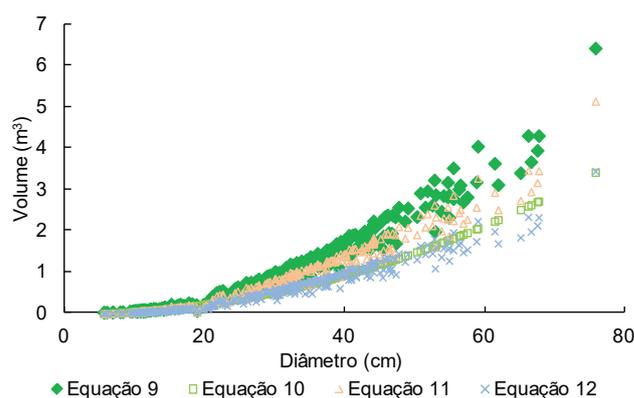


Figura 5. Volume estimado por árvore em função do diâmetro, para a espécie *Araucaria angustifolia*, com as equações 9, 10, 11 e 12.

As equações 10, 11 e 12 foram descartadas por terem sido desenvolvidas a partir de árvores de araucária plantada e, adicionalmente, o local de origem destas árvores - Rio Negro, PR - está a 220 km do município de Caçador. Na falta de outras equações, poderia ser avaliada a possibilidade de sua aplicação. A equação 9 foi ajustada com dados de florestas naturais na região de Lebon Régis, município vizinho a Caçador, e embora tenha abrangência somente de diâmetros maiores

que 20 cm, apresenta desempenho semelhante às demais equações para diâmetros inferiores a este, em especial até 10 cm.

A seleção da equação 9 se confirma ao se observar o comportamento do fator de forma para esta equação, que assume valores sempre próximos a 0,6 a partir de 15 cm de diâmetro (Figura 6a). Um fator de forma superior a 1,0 para diâmetros entre 5 cm e 10 cm indica que o volume das árvores jovens de *A. angustifolia* é maior que o do cilindro calculado com base no DAP (Figueiredo Filho et al., 2014a).

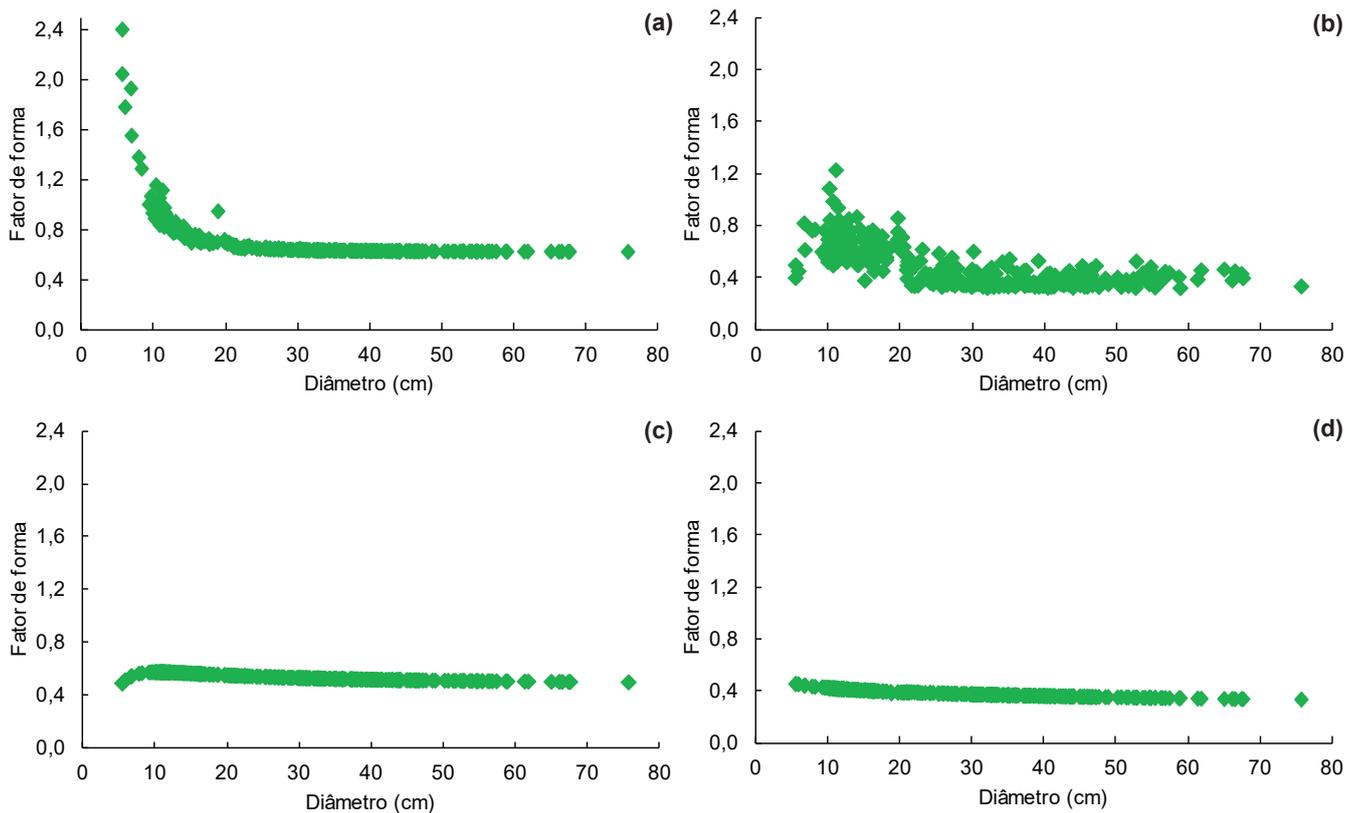


Figura 6. Fator de forma para *Araucaria angustifolia*, calculado pela divisão do volume estimado com a equação pelo volume do cilindro, considerando o DAP: (a) equação 9; (b) equação 10; (c) equação 11 e; (d) equação 12.

Florestas plantadas

Além da vegetação nativa, os dados dos conglomerados indicaram a ocorrência de povoamentos florestais com espécies exóticas, como *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. Para essas espécies foram testadas equações disponíveis na literatura, ajustadas para plantações em condições similares quanto ao local das medições e amplitude de diâmetro adotada nos ajustes.

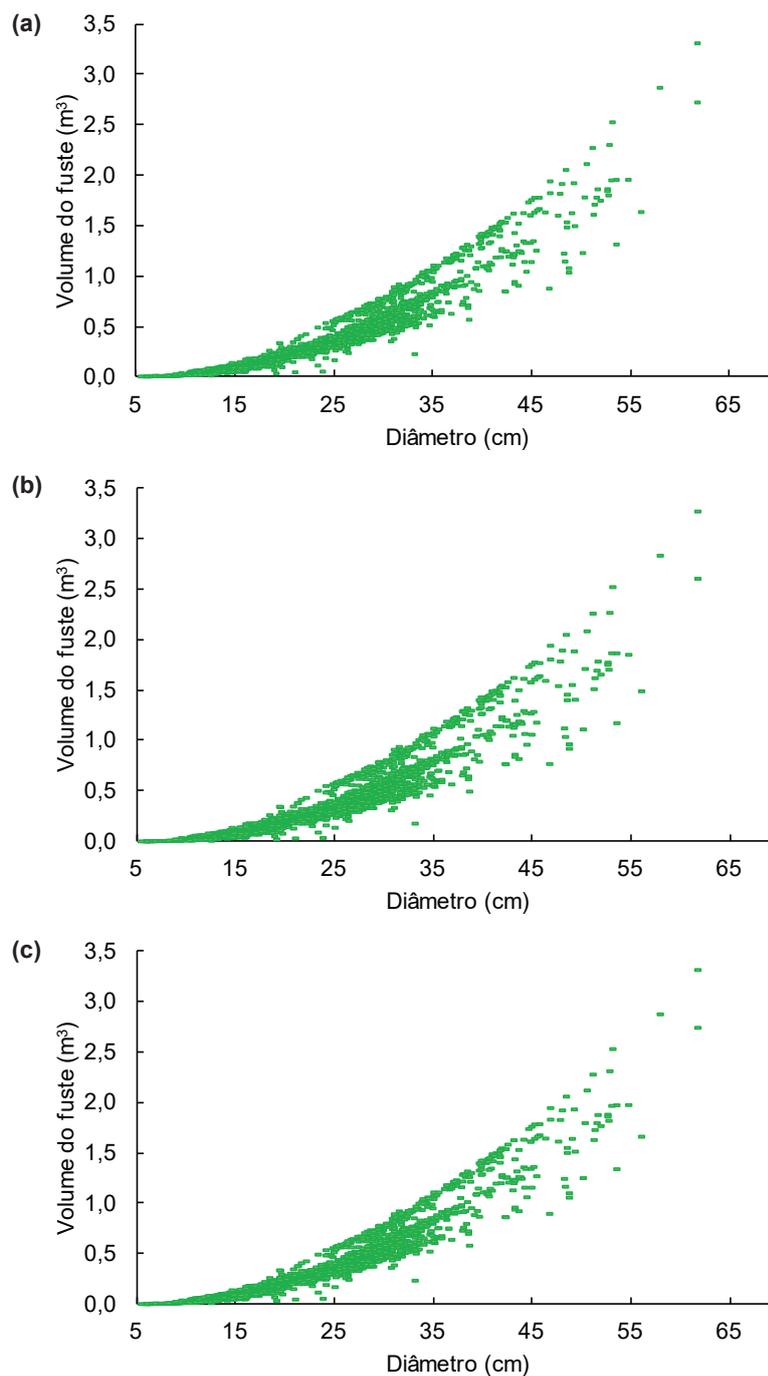
Equações volumétricas para *Pinus taeda*

Foram avaliadas três equações ajustadas para plantações de *Pinus taeda* no estado de Santa Catarina (Tabela 3). A análise gráfica da dispersão dos valores de volume estimado por árvore em função do diâmetro (Figura 7) indica semelhanças entre os resultados das equações. No entanto, ao se visualizar os resultados de fator de forma, as equações 13 e 15 apresentaram resultados semelhantes a partir do diâmetro igual a 25 cm. Para diâmetros menores que este, a equação 13

Tabela 3. Equações volumétricas testadas para estimativa do volume total do fuste com casca para *Pinus taeda*.

Nº	Equação	R ² aj.	Restrições	Local	Idade (anos)	Fonte
13	$\text{Ln } v = -9,86415 + 1,92067 \times \text{Ln } d + 0,98561 \times \text{Ln } Ht$	0,99	$7,0 < d < 33,2$	Otaclíio Costa, SC	5 a 18	Pauleski (2010)
14	$\text{Ln } v = -10,2077 + 1,87512 \times \text{Ln } d + 1,14843 \times \text{Ln } Ht$	0,99	-	Ponte Alta do Norte, SC	8 a 28	Thomas et. al. (2006)
15	$\text{Ln } v = -9,741 + 0,95687 \times \text{Ln } (d^2 \times Ht)$	0,99	$12 < d < 45$	Campo Belo do Sul, SC	11 a 26	Yoshitani Junior (2009)

Ln = logaritmo natural, v = volume do fuste (m³); d = DAP (diâmetro a altura do peito (cm)); Ht = altura total (m), R²aj. = coeficiente de determinação ajustado.

**Figura 7.** Volume por indivíduo em função do diâmetro para *Pinus taeda*: (a) equação 13; (b) equação 14 e; (c) equação 15.

gerou fatores de forma muito inferiores (Figura 8). Considerou-se que ambas as equações poderiam ser adotadas e, caso o objetivo seja a obtenção de estimativas mais conservadoras, a equação escolhida deveria ser a 13.

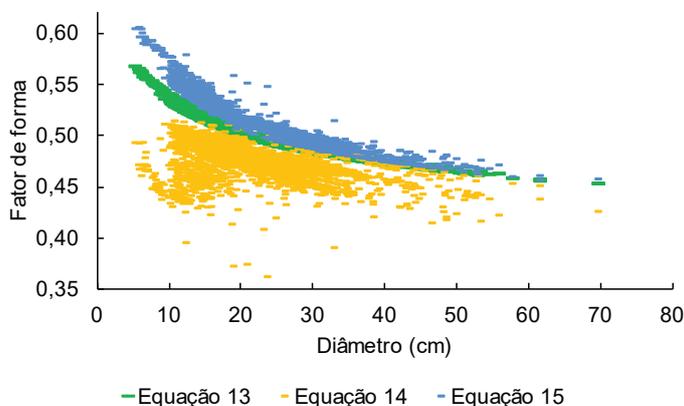


Figura 8. Fator de forma para *Pinus taeda*, calculado pela divisão do volume estimado com cada equação pelo volume do cilindro, considerando o DAP.

A equação 14 seria descartada por não apresentar a amplitude de diâmetros representada no ajuste e por gerar uma distribuição de valores de fator de forma muito dispersa, a partir de 11 cm de diâmetro, algo que só poderia ser considerado se houvesse conhecimento sobre a distribuição de idades e situações de desbastes das plantações analisadas.

Equações volumétricas para *Eucalyptus grandis*

As três equações avaliadas para estimar o volume dos indivíduos da espécie *Eucalyptus grandis* estão apresentadas na Tabela 4. Embora tenham sido ajustadas com conjuntos de dados diferentes e sejam de locais diferentes, todas são logarítmicas ou com possibilidade de transformação logarítmica, como a equação 16. As estimativas geradas por estas equações indicaram semelhança nos valores estimados para diâmetros inferiores a 35 cm; a partir deste, ocorreu certa dispersão dos pontos, e cada equação assumiu um comportamento (Figura 9). Nenhuma árvore teve um valor negativo como volume estimado.

Tabela 4. Equações volumétricas testadas para estimativa do volume total do fuste com casca para *Eucalyptus grandis*.

Nº	Equação	R ² aj.	Syx (%)	Restrições	Local	Idade (anos)	Fonte
16	$v = 0,000056 + d^{1,80555} \times Ht^{1,02508}$	0,98	6,46	5,1 < d < 13,7 7,8 < Ht < 16,3	Pirai do Sul, PR	-	Figueiredo Filho et al. (2014b)
17	$\ln v = - 10,098683 + 1,856550 \times \ln d + 1,075117 \times \ln Ht$	0,99	5,93	5 < d < 34,9 8,0 < Ht < 40,1	Balneário Pinhal, RS	-	Loureiro et al. (2012)
18	$\ln v = - 9,94733 + 0,96507 \times \ln (d^2 \times Ht)$	0,99	8,8	4,3 < d < 37,0 7,0 < Ht < 38,5	Agudos, SP	3 a 9	Conceição (2004)

Ln = logaritmo natural, V= volume do fuste (m³); d = DAP (diâmetro a 1,30 m do solo (cm)); Ht = altura total (m), R²aj. = coeficiente de determinação ajustado, Syx% = erro padrão da estimativa em percentagem.

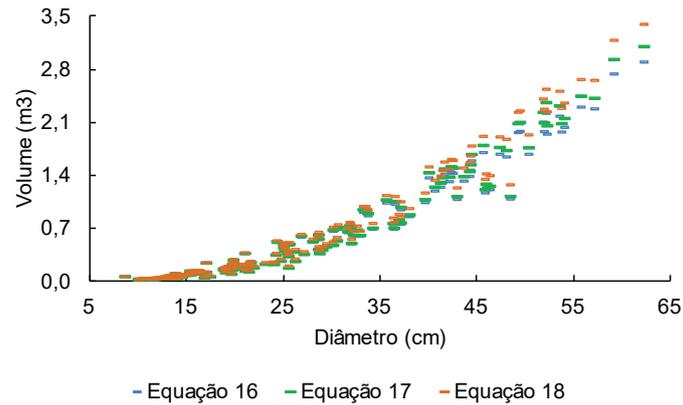


Figura 9. Volume estimado por árvore em função do diâmetro, para a espécie *Eucalyptus grandis*, com as equações 16, 17 e 18.

A princípio, para o conjunto de dados em estudo, qualquer uma das três equações poderia ser selecionada. No entanto, pode-se buscar critérios que estabeleçam a opção mais adequada. A equação 16 foi ajustada para uma amplitude de diâmetro muito pequena e diferente (5,1 cm a 13,7 cm) daquela observada nos dados coletados no inventário em questão (8,6 cm a 62,2 cm). As equações 17 e 18 foram ajustadas para uma amplitude de diâmetros e alturas um pouco maior que a equação 16, porém ainda não abrangendo toda a amplitude verificada nas parcelas do inventário. Como não foi encontrada outra equação que atendesse a esse quesito, e as estimativas apresentaram-se coerentes, a opção pela equação 17 pode ser a mais acertada; com essa equação são gerados valores mais conservadores para as árvores com DAP superior a 40 cm, que devem gerar alto impacto no resultado final de volume por hectare, mesmo para uma menor quantidade de árvores, se comparada com as árvores de menor porte.

A seleção da equação 17 foi corroborada pela avaliação do comportamento dos valores de fator de forma em função do diâmetro, que assumiram uma configuração intermediária em relação às outras equações, decrescendo de 0,48 a 0,37 para diâmetros de 8,6 cm a 62,2 cm (Figura 10).

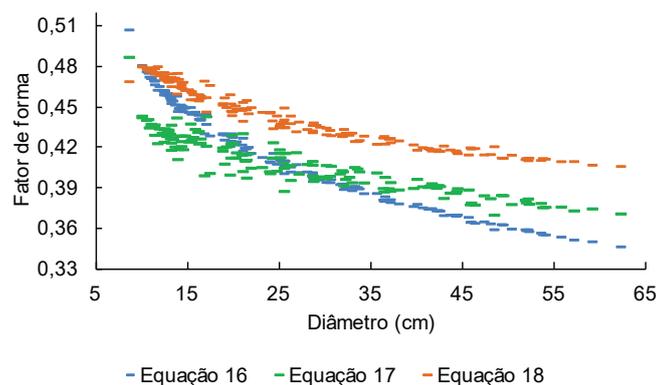


Figura 10. Comportamento do fator de forma em função do diâmetro, para a espécie *Eucalyptus grandis*, com as equações de volume 16, 17 e 18.

Seleção de equações alométricas

Equações alométricas, utilizadas para quantificar a biomassa arbórea, normalmente apresentam como variáveis independentes o diâmetro e a altura da árvore e, eventualmente, a densidade da madeira. O ajuste de tais equações constitui-se tarefa árdua, quando é possível realizá-la, pois envolve a derrubada das árvores e quantificação da biomassa em cada compartimento (fuste, galhos, folhas). Entretanto, existem na literatura algumas equações publicadas e cabe ao usuário selecionar a que foi ajustada com dados mais semelhantes aos observados no seu conjunto de dados de inventário.

Florestas naturais

A quantificação de biomassa arbórea de florestas naturais por meio de equações alométricas deve levar em consideração que as árvores selecionadas para o desenvolvimento do ajuste da equação incluam as espécies observadas no conjunto de dados do inventário, especialmente no que se refere ao peso específico do fuste. Neste trabalho buscou-se equações específicas para xaxim e jerivá, que têm porte arbóreo, porém não são árvores, e que, em geral, não fazem parte de ajustes de equações alométricas ou volumétricas.

Equações alométricas para todas as espécies da Floresta Ombrófila Mista exceto xaxim e jerivá

A biomassa aérea pode ser obtida por meio do método indireto, que consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil obtenção e que não requeira a destruição do material vegetal, diante da impossibilidade de se usar o método destrutivo direto.

A estimativa do peso seco total foi realizada utilizando-se as quatro equações listadas na Tabela 5, levando-se em consideração a similaridade das características estruturais entre a floresta estudada por Ratuchne (2010) e as florestas avaliadas neste trabalho. Tais equações foram desenvolvidas a partir da cubagem de árvores no município de General Carneiro, PR, distante 49 km em linha reta do município de Caçador, SC. As árvores correspondem a 38 espécies da Floresta Ombrófila Mista Montana, incluindo *Araucaria angustifolia*.

Tabela 5. Equações testadas para a estimativa do peso seco total das árvores na Floresta Ombrófila Mista.

Nº	Modelo	R ² _{aj.}	Syx%
19	PS = - 3,025 x d + 0,425 x d ² + 0,006 x (d ² x Ht)	0,955	47,24
20	PS = 4,268 x d - 0,114 x d ² + 0,013 x d ³ - 0,0000722 x d ⁴	0,954	46,53
21	PS = 0,340 x d ² - 0,122 x Ht ² + 0,008 x (d ² x Ht)	0,954	46,71
22	PS = 0,317 x d ² + 0,009 x (d ² x Ht)	0,954	47,85

Modelos ajustados para 5,4 < d < 105,7 cm e 5,6 < Ht < 30,1 m, onde: Ps = Biomassa (kg); d = DAP (diâmetro a altura do peito (cm)); Ht = altura total (m), R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa em percentagem.

Fonte: Ratuchne (2010).

As equações 19 e 21 geraram valores negativos de biomassa, a primeira para valores de diâmetro entre 5 cm e 6,8 cm e a segunda somente para um diâmetro de 5,6 cm, subestimando, no entanto, a biomassa das árvores de até 6,8 cm se comparadas com as estimativas das equações 20 e 22.

Observou-se, também, que a equação 20 subestimou a biomassa em árvores com diâmetro superior a 120 cm (Figura 11), possivelmente por ser um polinômio de quarto grau. Além disso, por não ter a altura total ou do fuste como variável independente, pode não representar bem o comportamento de árvores de diâmetros superiores a 120 cm de outras espécies que não fizeram parte do conjunto de cubagens.

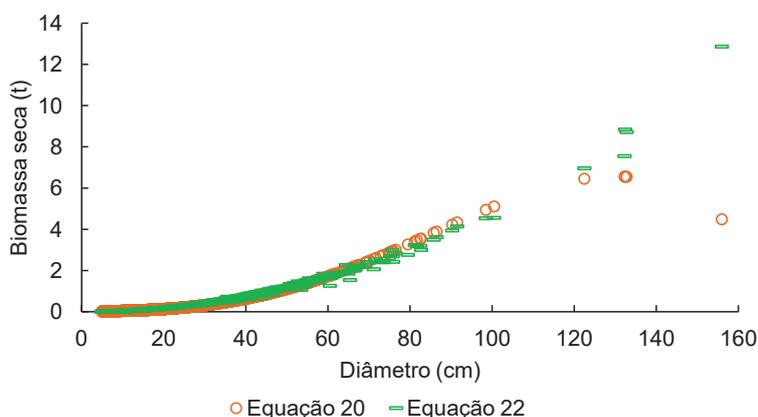


Figura 11. Biomassa seca por árvore, estimada em função do diâmetro, para as espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista, usando as equações 20 e 22.

A equação 22 deve ser a mais adequada entre as equações avaliadas, considerando as inconformidades observadas para as equações 19, 20 e 21 e por ser mais robusta, pois suas estimativas apresentaram resultados coerentes ao longo de toda a amplitude de diâmetros entre 5 cm e 156 cm, embora o ajuste tenha sido realizado com árvores de diâmetros entre 5,4 cm e 105,7 cm.

Vibrans et al. (2013), processando os dados do IFN-BR, em Santa Catarina, para a região com Floresta Ombrófila Mista, também utilizaram a equação 22, por ter sido gerada no município de General Carneiro, PR, mais próximo geograficamente das florestas catarinenses. Estes autores consideraram, ainda, que esse modelo explicitou a forte correlação existente entre o diâmetro e o peso seco da árvore, embora seja de dupla entrada (DAP e altura).

Equações alométricas para *Dicksonia sellowiana*

As pteridófitas apresentam aspectos ecológicos bem diversificados (Lehn et al., 2002). Os xaxins ou samambaias arborescentes diferenciam-se das outras pteridófitas por apresentarem caule ereto, cilíndrico, lignificado, geralmente emaranhado com raízes adventícias e com folhas que formam uma roseta no ápice, podendo atingir alguns metros de comprimento (Pereira, 2003). Assim, considerando estas características diferenciadas, especialmente quanto à densidade do fuste, e ainda o fato de que o número de indivíduos de *Dicksonia sellowiana* (xaxim) encontrado nas parcelas da área em estudo correspondeu a cerca de 19% de todos os indivíduos medidos nas florestas nativas, foram avaliadas equações ajustadas por Ziemmer et al. (2016), visando representar melhor a quantidade de biomassa para esta espécie (Tabela 6).

A amplitude de altura total das plantas de xaxim no conjunto de dados avaliado variou entre 1,6 m e 7,5 m. Apenas duas plantas apresentaram mais de 10 m de altura. Portanto, a amplitude verificada foi considerada semelhante àquela dos dados utilizados por Ziemmer et al. (2016) em Rio Negro, PR (1,25 m a 5,75 m). A equação que pareceu mais adequada ao conjunto de dados foi a equação 26 (Figura 12d), escolhida por apresentar uma distribuição de pontos mais concentrada e por não

Tabela 6. Equações alométricas para *Dicksonia sellowiana*.

Nº	Equação	R ² aj.	Syx (%)
23	$PS = 0,872696 + 0,022991 \times (d^2)$	0,61	50,9
24	$PS = 4,757943 + 0,00506 \times (d)$	0,62	42,3
25	$\text{Ln PS} = - 2,65717 + 1,310227 \times \text{Ln}(d) + 1,05658 \times \text{Ln}(ht)$	0,83	40,0
26	$\text{Ln PS} = - 3,11391 + 0,772194 \times \text{Ln}(d^2 \times ht)$	0,82	41,0
27	$\text{Ln PS} = - 3,17038 + 1,462132 \times \text{Ln}(d) + 1,183807 \times \text{Ln}(ht) + 0,00004 \times (d^2 \times ht)$	0,82	38,0

Modelos ajustados para 1,25 m < h < 5,75 m, onde: Ln = logaritmo natural, Ps = biomassa (kg); d = diâmetro da base (cm), mas neste estudo foi considerado como DAP (diâmetro a 1,30 m do solo); ht = altura total (m), R² aj. = coeficiente de determinação ajustado, Syx (%) = erro padrão da estimativa em percentagem.

Fonte: Ziemmer et al. (2016).

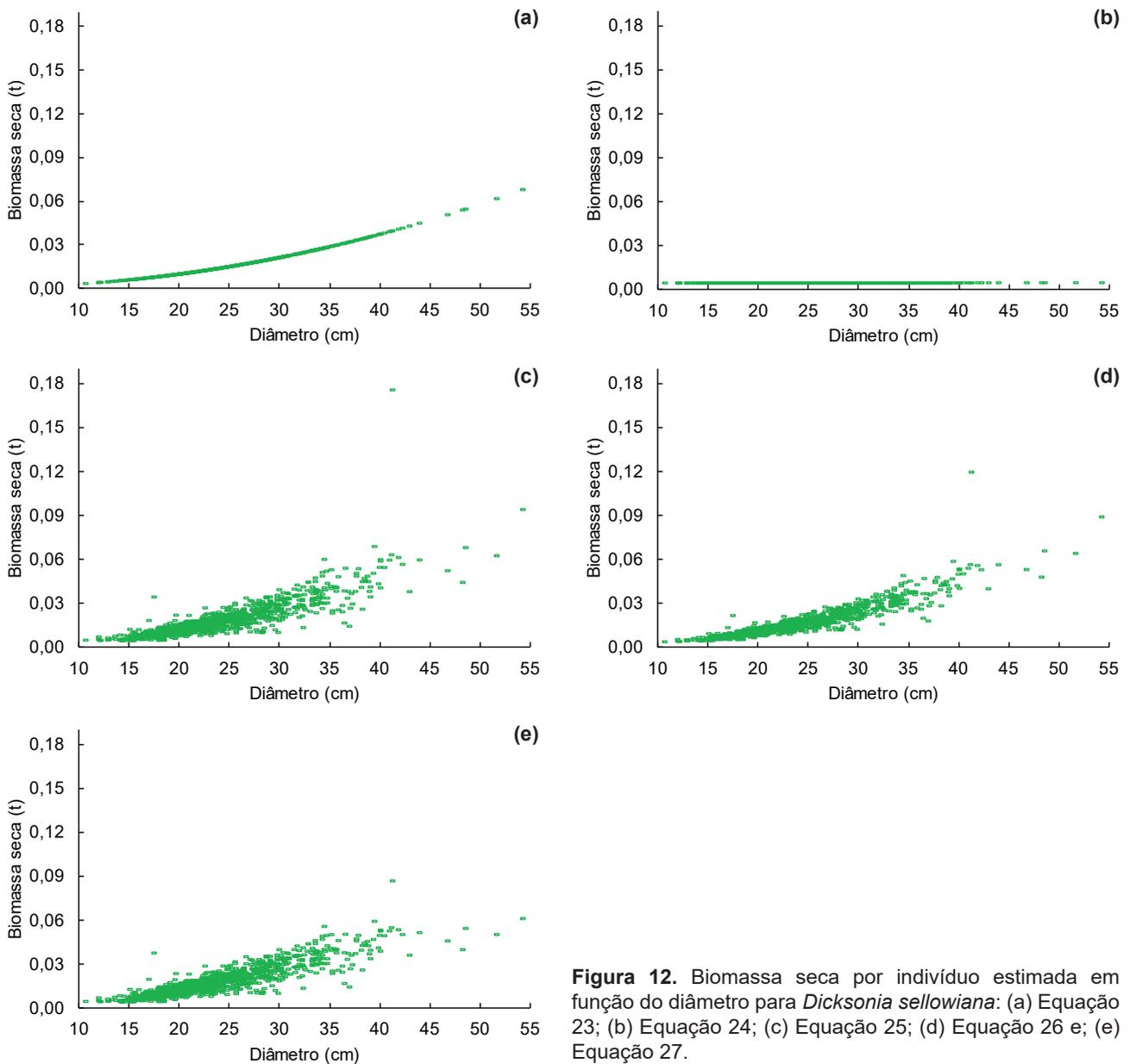


Figura 12. Biomassa seca por indivíduo estimada em função do diâmetro para *Dicksonia sellowiana*: (a) Equação 23; (b) Equação 24; (c) Equação 25; (d) Equação 26 e; (e) Equação 27.

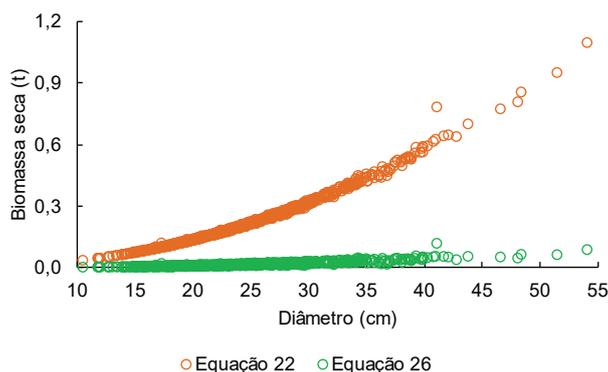


Figura 13. Comparativo entre as estimativas de biomassa seca de *Dicksonia sellowiana* utilizando equação específica (26) e equação para todas as espécies de Floresta Ombrófila Mista (22).

gerar superestimativas, como observado com a equação 25 (Figura 12c), especialmente para diâmetros superiores a 40 cm. As equações 23 e 24 foram descartadas por subestimar os valores de biomassa, fato este nitidamente observado ao se comparar as Figuras 12a e 12b com as demais.

Um comparativo das estimativas para *Dicksonia sellowiana* utilizando as equações 26 (específica) e 22 (selecionada anteriormente para todas as espécies da Floresta Ombrófila Mista), indica que a soma da biomassa individual calculada com a equação 26 (específica) resultou em um valor 12,3 vezes menor que a soma da biomassa calculada com a equação 22, ilustrado pela Figura 13. Ressalta-se, portanto, a importância de se observar quais são as espécies que compõem o conjunto de árvores utilizado no ajuste da equação alométrica, caso contrário pode-se incorrer em erros difíceis de quantificar ao final do processamento.

Equação alométrica para *Syagrus romanzoffiana*

Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman (jerivá) é uma palmeira arbórea com ampla distribuição geográfica, bastante abundante nos estados do Sul do Brasil (Santos; Souza, 2007). Embora a espécie tenha sido registrada com ocorrência pouco representativa na área avaliada, levou-se em consideração as características da espécie e avaliou-se uma equação descrita por Burger e Dellitti (2010). Entre as equações avaliadas por estes autores, a de número [28] apresentou menores valores de Syx (17,5%), maior R^2 (0,92) e distribuição de resíduos mais homogênea, em função do logaritmo neperiano (Ln) da biomassa seca.

$$Ln(P_s) = -0,884 + 2,40 \times \ln(ht) \quad [28]$$

onde: Ln = logaritmo natural; P_s = biomassa (kg); ht = altura total (m).

A base de dados utilizada por Burger e Dellitti (2010) abrangeu árvores com DAP entre 3,7 cm e 33,1 cm e altura total entre 1,35 m e 16,4 m, o que está compatível com a amplitude verificada na área em estudo, onde o DAP variou entre 5 cm e 31 cm e a altura entre 4,8 m e 17,3 m.

A adoção de uma equação alométrica para todas as espécies (equação 22) parece resultar em valores intermediários em relação aos gerados com a equação específica (28) (Figura 14). No entanto, o somatório da biomassa seca estimada com a equação específica (28) foi 5,22% superior ao somatório obtido com a equação para todas as espécies da Floresta Ombrófila Mista (22), indicando, mais uma vez, a importância de se adotar, sempre que possível, equações específicas para espécies com características diferenciadas.

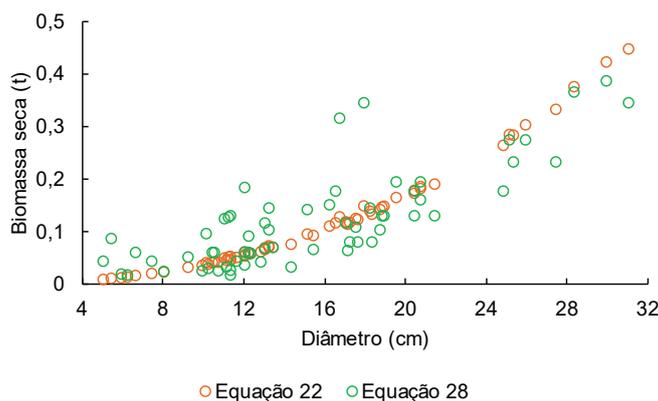


Figura 14. Comparativo entre as estimativas de biomassa seca de *Syagrus romanzoffiana* utilizando equação específica (28) e equação para todas as espécies de Floresta Ombrófila Mista (22).

Florestas plantadas

Para as espécies presentes nas florestas plantadas, além da utilização de equações alométricas, a biomassa foi estimada por outro procedimento que emprega o valor do volume do fuste individual, densidade básica da madeira e um fator de expansão de biomassa. Em ambas as situações, levou-se em consideração a amplitude diamétrica representada pelo conjunto de árvores utilizadas no ajuste de cada equação, de maneira a buscar a equação que melhor representasse a amplitude diamétrica verificada no inventário de Caçador para as florestas plantadas. Salienta-se que, neste inventário, não se dispõe da informação da idade ou situação de desbaste, pois estas variáveis não são previstas na metodologia de levantamento (Serviço Florestal Brasileiro, 2015).

Equações alométricas para *Pinus taeda*

Três equações alométricas foram avaliadas para *Pinus taeda*, ajustadas em diferentes localidades e em diferentes idades de plantio (Tabela 7). Nenhuma destas equações gerou valores negativos de biomassa; portanto, neste quesito, nenhuma seria descartada. No entanto, por se tratar de floresta plantada, a equação 30 representa uma amplitude maior de idades de plantio e utiliza diâmetro e altura total como variáveis independentes, enquanto as demais representam uma única idade cada uma e utilizam somente o diâmetro como variável independente. Como não se dispõe de informações detalhadas das florestas plantadas inventariadas, considerou-se mais adequado utilizar ao máximo as informações disponíveis, no caso o diâmetro e a altura de cada árvore. Portanto a equa-

Tabela 7. Equações alométricas para *Pinus taeda*.

Nº	Equação	R ²	Syx (%)	Restrições	Local	Idade (anos)	Fonte
29	$\ln PS = -2,9508 + 1,334359 \times \ln g$	0,97		15<~d<~30	Rio Negrinho, SC	14	Higa (2006)
30	$PS = 12,1156 - 2,5386 \times d + 0,1702 \times d^2 + 0,0156 \times d^2 \times Ht$	0,97	15,5	3,6<d<35,9	Centro-Sul, PR	2 a 22	Schikowski et al. (2013)
31	$\ln PS = -0,513258 + 1,966150 \times \ln (d)$	0,98	0,84	31<~d<~59 $\bar{d} = 48,9$ $\bar{h} = 27,4$	Cambará do Sul, RS	27	Schumacher et al. (2013)

Ln = logaritmo natural; P_s = biomassa seca (kg); g = área transversal (cm²); d = DAP (diâmetro a 1,30 m do solo (cm)); Ht = altura total (m); R² = coeficiente de determinação; Syx (%) = erro padrão da estimativa em percentagem.

ção 30 foi selecionada, representando bem as variações de altura, especialmente para diâmetros superiores a 35 cm (Figura 15b).

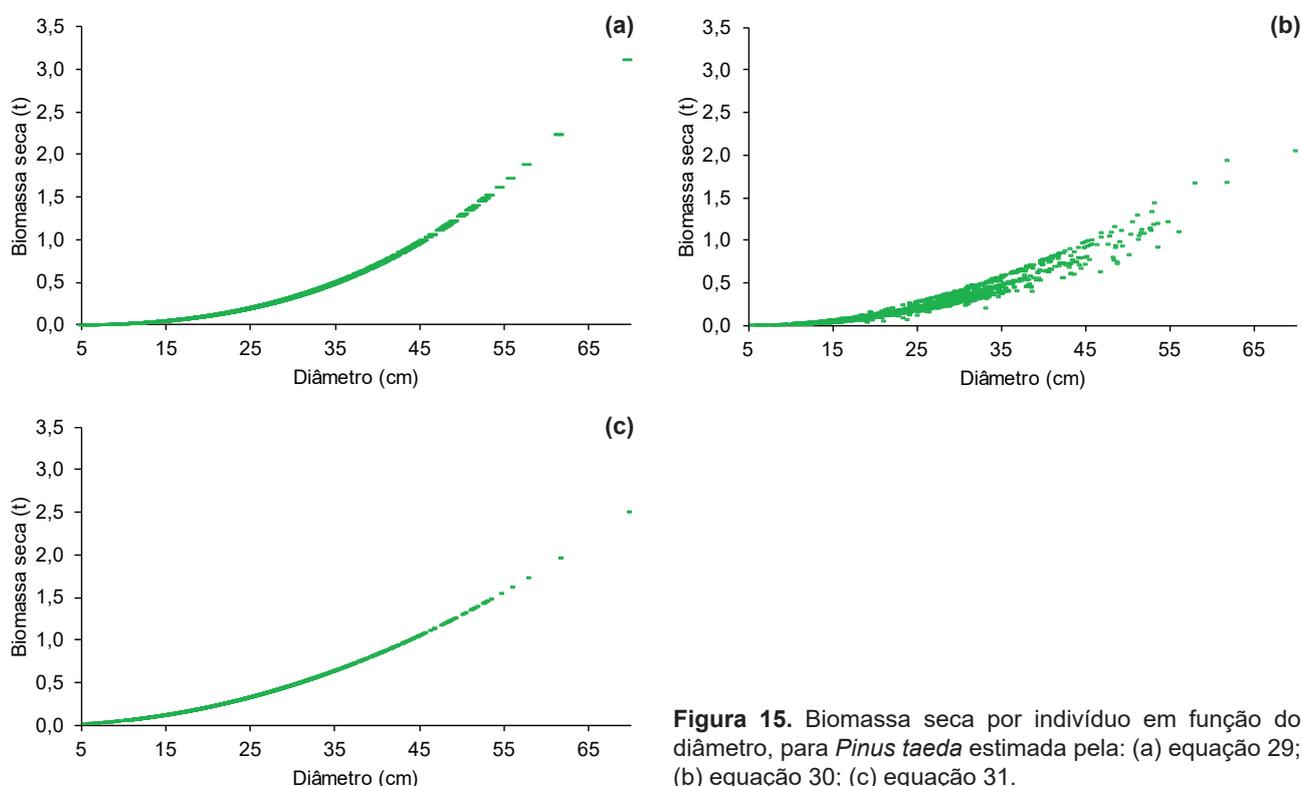


Figura 15. Biomassa seca por indivíduo em função do diâmetro, para *Pinus taeda* estimada pela: (a) equação 29; (b) equação 30; (c) equação 31.

Quantificação de biomassa de *Pinus taeda* por equação de volume e densidade da madeira

A quantificação de biomassa do fuste para *Pinus taeda*, por meio da densidade básica média e do volume do fuste, considerou o valor de densidade $0,48 \text{ g cm}^{-3}$ para a espécie, obtido por Iwakiri et al. (2002), e a equação volumétrica [13], selecionada por ser a única entre as três que inclui a altura total como variável independente.

A biomassa estimada por meio do volume e densidade básica da madeira corresponde à biomassa do fuste. Foi utilizado o fator de expansão de biomassa [32], ajustado por Dalla Corte et al. (2012), para gerar a estimativa de biomassa aérea total de cada árvore ($R^2_{aj.}$ de 0,75 e Syx de 15,98%).

$$FEB = 3,6190 \times H_t^{-0,3697} \quad [32]$$

onde: FEB = Fator de expansão de biomassa; H_t = altura total (m).

O peso seco da biomassa do fuste multiplicado pelo fator de expansão de biomassa resultou no peso seco da biomassa total da árvore [33].

$$P_s = V_f \times db \times FEB \quad [33]$$

onde: P_s = Biomassa seca (kg); V_f = volume do fuste estimado pela equação 13 (m^3); db = densidade básica ($0,48 \text{ g cm}^{-3}$ ou 480 kg m^{-3}); FEB = fator de expansão de biomassa estimado com a equação 32.

Comparativo entre os dois procedimentos para quantificação de biomassa de *Pinus taeda*

Os procedimentos para a quantificação de biomassa abordados nos itens anteriores geraram comportamento muito semelhante quanto às estimativas ao longo da amplitude diamétrica, demonstrando alta correlação entre o DAP e a biomassa seca. Porém, especificamente neste caso, pode ser preferível adotar o procedimento com a equação de volume, densidade da madeira e FEB, por gerar estimativas mais conservadoras para árvores com diâmetro superior a 45 cm (Figura 16).

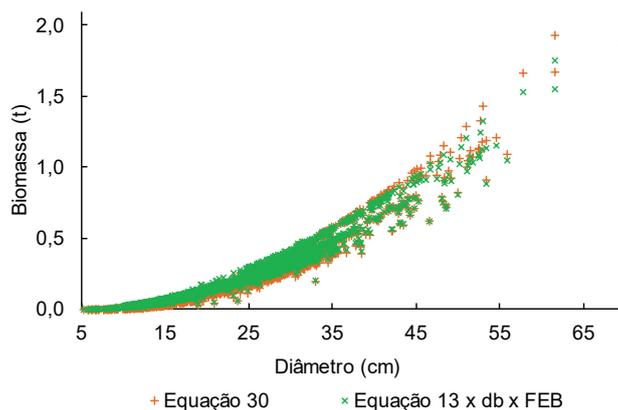


Figura 16. Biomassa estimada por equação alométrica e por multiplicação do volume pela densidade básica média e fator de expansão de biomassa para *Pinus taeda*.

Equação alométrica para *Eucalyptus grandis*

Excepcionalmente para *Eucalyptus grandis* não foi encontrada uma equação para estimar a biomassa, sendo avaliada uma equação que estima o carbono de biomassa do fuste. Para efeito comparativo com o outro método, a quantidade de biomassa do fuste foi obtida pela divisão do resultado de carbono de biomassa por 0,475, conforme recomendação de Magnussen e Reed (2004). A equação avaliada foi ajustada por Soares et al. (2002) para quantificar carbono de biomassa aérea em plantio desta espécie na região de Viçosa, MG, aos 6 anos e 5 meses de idade, para árvores com diâmetro entre 6 cm e 24 cm e altura total entre 11,7 m e 28,8 m. A equação ajustada apresentou R^2 de 0,98 e coeficiente de variação de 14,98%.

$$P_s = \left(\exp(-6,609865 + 1,661056 \times \ln d + 1,851121 \times \ln Ht) \times \frac{1}{0,475} \right) \quad [34]$$

onde: \ln = logaritmo natural; P_s = biomassa do fuste com casca (kg); d = DAP (diâmetro a 1,30 m do solo (cm)); Ht = altura total (m).

Quantificação de biomassa de *Eucalyptus grandis* por equação de volume e densidade da madeira

Para o método da multiplicação do volume do fuste pela densidade básica da madeira e pelo fator de expansão de biomassa, o volume foi estimado pela equação [17], selecionada entre as três avaliadas no item sobre equações volumétricas para *E. grandis*. Considerou-se o valor de 0,49 g cm⁻³

como densidade média para a espécie, conforme obtido por Oliveira et al. (2005), para árvores com 16 anos de idade. Este valor foi multiplicado pelo volume para a obtenção da biomassa do fuste.

Comparativo entre os dois procedimentos para quantificação de biomassa de *Eucalyptus grandis*

Tanto para a estimativa com a equação alométrica do fuste quanto para o uso da equação de volume do fuste e a densidade básica, foi multiplicado o valor da biomassa do fuste pelo fator de expansão de biomassa para *E. grandis*, ajustado por Dalla Corte et al. (2015) para quantificar a biomassa individual total da parte aérea:

$$FEB = 0,93817 + 0,0367 \times \text{Ln } d \quad [35]$$

onde: Ln = logaritmo natural; FEB = fator de expansão de biomassa; d = DAP (diâmetro a 1,3 m do solo (cm)).

A diferença entre os dois procedimentos é de 33,9% a mais de biomassa, em média, quando se aplica o procedimento da equação de volume, densidade da madeira e FEB, demonstrado também na Figura 17. A escolha deste procedimento pode ser a mais acertada, considerando que a equação de volume [17] selecionada para estimar o volume das árvores de *E. grandis* mostrou-se adequada, quando observado o gráfico de dispersão do fator de forma em relação ao diâmetro (Figura 10). Assumiu-se que a estimativa do volume do fuste é consistente e, embora adote-se um valor médio de densidade da madeira, podendo esta variar conforme a idade e/ou a classe de diâmetro em que a árvore se encontra (Gonçalves et al., 2009; Santana et al., 2012), o resultado deve ser também, a estimativa consistente da biomassa.

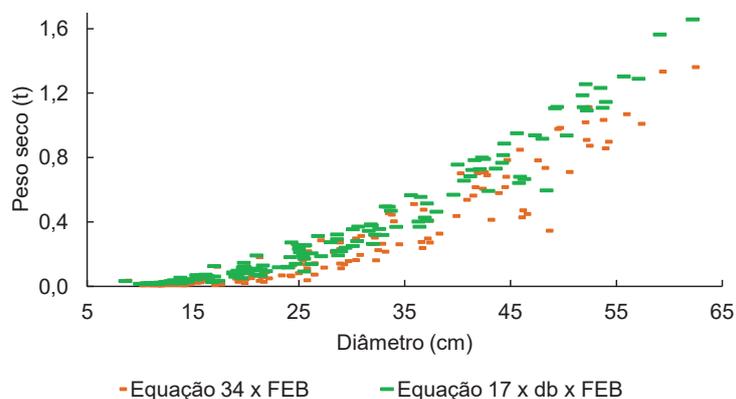


Figura 17. Biomassa estimada por equação alométrica e por multiplicação do volume pela densidade básica média e fator de expansão de biomassa para *E. grandis*.

Em contrapartida, especificamente neste comparativo, a equação que estima o carbono de biomassa - convertido para biomassa por meio de um fator - somente por este motivo poderia ser descartada, já que existe outra opção. Além disso, as amplitudes de diâmetro e altura das árvores utilizadas no ajuste da equação de carbono (6 cm a 24 cm e 11,7 m a 28,8 m, respectivamente) são menores que as observadas no conjunto de dados das parcelas em estudo (diâmetro de 8,6 cm a 62,2 cm e altura de 6 m a 29 m).

Processamento dos dados e análise preliminar dos resultados

A geração dos resultados do inventário deve levar em consideração os objetivos para os quais foi planejado. Para o inventário do município de Caçador, é importante conhecer a composição de espécies arbóreas, envolvendo a quantidade de espécies, de indivíduos por espécie e a sua distribuição por classe de diâmetro em cada conglomerado. Em uma segunda abordagem, a quantidade de biomassa em cada conglomerado e a média dos conglomerados foi considerada como indicadora do potencial de estoque de carbono de biomassa naqueles remanescentes florestais.

Em qualquer inventário, a análise dos resultados do processamento consiste em comparações com resultados já publicados. No caso do inventário realizado em Caçador, uma das referências é o IFN-BR de Santa Catarina, além de trabalhos realizados em Floresta Ombrófila Mista na região Sul, visando estabelecer as similaridades ou diferenças e compreendê-las em termos contextuais.

O processamento dos dados das parcelas do inventário de Caçador teve início com a estimativa de biomassa e de volume de cada árvore. Optou-se pela utilização do software Mata Nativa 4 e de planilha eletrônica, pela facilidade de ambos em produzir tabelas, gráficos e outros cálculos. Com o Mata Nativa foi possível obter resultados da análise fitossociológica, distribuição nas classes diamétricas, média das variáveis quantitativas e dendrométricas por subunidade. Na planilha eletrônica foram geradas as médias por conglomerado e a análise estatística para amostragem em conglomerados de áreas desiguais, pois não foi possível obter estes resultados no Mata Nativa. O processamento das subunidades que continham florestas plantadas também foi realizado em planilha eletrônica.

Análise estatística da amostragem

O erro amostral calculado para uma das variáveis de interesse pode indicar o grau de precisão ao redor da média obtida das parcelas. No caso de amostragem em conglomerados (Péllico Netto; Brena, 1997), visa-se maior precisão e menor custo, quando a população a ser inventariada for extensa e a variável de interesse apresentar homogeneidade variando de razoável a grande.

Quando todas as subunidades de todos os conglomerados estão completamente ocupadas por florestas - portanto todos os conglomerados têm a mesma área amostrada - o cálculo da análise estatística é realizado conforme apresentado em detalhes por Péllico Netto e Brena (1997) e mostrado resumidamente pelas fórmulas [36] a [38].

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M X_{ij}}{n \times M} \quad [36]$$

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^M \frac{X_{ij}}{M} \quad [37]$$

$$s_x^2 = \frac{s_{\text{entre}}^2}{n} + \frac{s_{\text{dentro}}^2}{n \times M} \quad [38]$$

onde: \bar{x} = média por subunidade, \bar{x}_i = média das subunidades por conglomerado, $s_{\bar{x}}^2$ = variância da média representada pela variância entre e dentro dos conglomerados, N = número total potencial de conglomerados da população, M = número de subunidades do conglomerado, n = número de conglomerados amostrados, X_{ij} = variável de interesse.

Péllico Netto e Brena (1997) definem o coeficiente de correlação intraconglomerados (r) como um indicador do grau de similaridade entre subunidades dentro dos conglomerados. Em termos práticos, o limite aceitável deste coeficiente para aplicação da amostragem em conglomerados de inventários florestais é entre 0 (populações absolutamente homogêneas) e 0,4 (razoavelmente homogêneas). Valores superiores a 0,4 podem indicar que a amostragem estratificada seria mais eficiente. A fórmula é dada por:

$$r = \frac{S_{\text{entre}}^2}{S_{\text{entre}}^2 + S_{\text{dentro}}^2} \quad [39]$$

Os demais parâmetros empregados na análise estatística da amostragem são:

Erro padrão ($s_{\bar{x}}$):

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{s_{\bar{x}}^2} \quad [40]$$

Erro de amostragem (E):

$$\text{Absoluto: } E_a = \pm t \times s_{\bar{x}} \quad [41]$$

$$\text{Relativo: } E_r = \pm \frac{t \times s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100 \quad [42]$$

onde: t = valor tabelado t de Student.

Intervalo de confiança para a média (IC):

$$\text{IC } [\bar{x} - t \times s_{\bar{x}} \leq \bar{X} \leq \bar{x} + t \times s_{\bar{x}}] \quad [43]$$

Conglomerados de áreas desiguais

A instalação sistemática de conglomerados ao longo da área do município de Caçador fez com que alguns deles apresentassem mais de um tipo de uso da terra e cobertura vegetal. Em situações como esta, a análise estatística dos resultados requer maior cuidado, levando-se em conta a área de cada subunidade efetivamente ocupada por floresta e até mesmo o número de subunidades com cobertura florestal. Portanto, foi considerada a área de cada subunidade recoberta por floresta nativa, extrapolada para uma unidade padrão (no caso, hectare), para o cálculo das variáveis quantitativas.

A metodologia desenvolvida por Queiroz (2012), para amostragem em conglomerados em estágio único com unidades de grandezas desiguais, é indicada para obter a análise estatística da amostragem quando se tem conglomerados com número de subunidades diferentes, procedendo às estimativas por razão. As seguintes fórmulas são empregadas nesse caso:

Média da variável de interesse por razão

$$\bar{x}_R = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \times \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad [44]$$

onde: $\sum_{i=1}^n M_i$ = Soma do número de subunidades de todos os conglomerados, ou seja, se algum dos conglomerados não apresentar uma ou mais subunidades com cobertura florestal, esta(s) não é(são) considerada(s) na fórmula; $\sum_{i=1}^n M_i \times \bar{x}_i$ = Soma das médias da variável de interesse por conglomerado multiplicada pelo respectivo número de subunidades de cada conglomerado.

Variância da média por razão

$$\hat{V}(\bar{x}_R) = \frac{1}{\bar{M}_N^2} \left(\frac{N - n}{n \times N} \right) \left(\frac{\sum_{i=1}^n (M_i \times \bar{x}_i)^2 - 2 \times \bar{x}_R \times \sum_{i=1}^n M_i^2 \times \bar{x}_i + \bar{x}_R^2 \times \sum_{i=1}^n M_i^2}{n - 1} \right) \quad [45]$$

onde:

n = número de conglomerados amostrados; \bar{x}_i = média da variável de cada conglomerado; \bar{x}_R = Valor médio estimado; \bar{M}_N = Número potencial de subparcelas, calculado pela seguinte fórmula:

$$\bar{M}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_i \quad [46]$$

onde: M_i = número de subunidades no conglomerado; N = Número potencial de conglomerados, obtido pelo cálculo a seguir:

$$N = \frac{AT}{AC} \quad [47]$$

onde: AT = quantidade de área total que pode ser inventariada; no caso do inventário de Caçador, por exemplo, é a área total do município; AC = área que cada conglomerado possui potencialmente (0,4 ha para o inventário de Caçador).

A partir destes estimadores estatísticos, o erro amostral e o intervalo de confiança para a estimativa são calculados da mesma forma descrita anteriormente para amostragem em conglomerados padrão (de áreas iguais).

Considerações finais

A avaliação criteriosa da base de dados antes do processamento de um inventário florestal é imprescindível para gerar resultados precisos. Constitui-se uma fase do trabalho que pode contribuir muito para a economia de tempo na realização do processamento dos dados e análises, além de garantir maior qualidade dos resultados.

Embora neste trabalho não tenham sido apresentados resultados de biomassa ou volume por hectare, os testes com as equações para floresta nativa e para algumas espécies individualmente indicam a necessidade de se utilizar equações desenvolvidas para espécies com características diferentes, tais como *Dicksonia sellowiana*, *Syagrus romanzoffiana* e *Araucaria angustifolia*, possibilitando a geração de estimativas mais precisas, até que seja possível ajustar equações próprias para cada área em estudo.

A busca de equações para florestas plantadas que foram medidas nos conglomerados revelou a carência de equações alométricas disponíveis para as condições específicas da área avaliada. Foram consideradas adequadas as que melhor representaram a configuração dos dados, de acordo com indicador de forma das árvores (fator de forma) e com o conhecimento prévio de resultados observados em inventários de plantações comerciais.

As análises de equações buscam resultados condizentes com outros já publicados ou que, com o uso de critérios técnicos, possam ser validados por apresentar valores conservadores ou intermediários. No entanto, não foram derrubadas árvores, o que possibilitaria comprovar a qualidade das estimativas realizadas.

Entretanto, a metodologia de análise estatística da amostragem mais indicada para cada inventário florestal pode ser avaliada, conferindo resultados mais precisos quanto ao erro amostral e, conseqüentemente, quanto ao intervalo de confiança em relação à média da variável de interesse. Apenas a título ilustrativo, o uso da análise estatística para conglomerados de áreas desiguais produziu um erro amostral 22,8% menor que o obtido para o processamento considerando todos os conglomerados com a mesma área. A média de biomassa também pode ser considerada mais representativa, uma vez que se refere somente à parte das subunidades cobertas por floresta e somente às subunidades que contêm floresta. No caso do inventário de Caçador, a média calculada pelo método da razão resultou em um valor 5,6% superior ao verificado quando se ignora a variação do tamanho do conglomerado. Ressalta-se que este entendimento é necessário, devido ao desenho da amostragem, pois as parcelas não foram planejadas para ser instaladas exclusivamente em áreas com floresta.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Serviço Florestal Brasileiro, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente e à FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura), coordenadora do projeto CGP/BRA/079/GFF, pela cessão dos dados do Inventário Florestal Nacional (IFN-BR) utilizados neste estudo.

Referências

- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. do; FILHO, D. F. da S. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. São Paulo: Oficina de textos, 2014. 384 p.
- BURGER, D. M.; DELITTI, W. B. C. Modelos preditores da fitomassa aérea da Floresta Baixa de Restinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 143-153, 2010. DOI: 10.1590/S0100-84042010000100013.
- CONCEIÇÃO, M. B. da. **Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 2004. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. S.; SILVA, da F.; SCHIKOWSKI, A. B.; RUZA, M. S. Fator de expansão de biomassa, razão de raízes: parte aérea e modelos para carbono para *Eucalyptus grandis* plantados no Sul do Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 1078-1091, 2015.
- DALLA CORTE, A. P.; SILVA, F.; SANQUETTA, C. R. Fator de expansão de biomassa e razão de raízes: parte aérea para *Pinus* spp. plantadas no Sul do Brasil. **Floresta**, v. 42, n. 4, p. 755-768, 2012. DOI: 10.5380/rf.v42i4.17771.
- DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998. DOI: 10.5902/19805098351.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; KOHLER, S. V.; FELDE, J. L.; DIAS, N. A. Dinâmica do afilamento do tronco e da produção de madeira em plantios de *Araucaria angustifolia*. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 595-603, 2014a. DOI: 10.1590/01047760201420041386.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; MIRANDA, R. O. V. de; RESTLAFF, 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, 2014b. 306 p.
- GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. da S.; DELLA LUCIA, R. M.; NAPPO, M. E.; SARTÓRIO, R. C. Densidade básica e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, n. 22, p. 277-288, 2009.
- HIGA, R. C. **Dinâmica de carbono *Pinus taeda* L. voltadas a exigências climáticas e práticas silviculturais**. 2006. 68 f. Relatório final pós doutorado. Não publicado.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **IBÁ 2016**. São Paulo, 2016. 100 p. Relatório IBÁ 2016.
- IWAKIRI, S.; SILVA, J. C.; SILVA, J. R. M.; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivos uréia formaldeído. **Revista Árvore**, v. 26, n. 3, p. 371-375, 2002. DOI: 10.1590/S0100-67622002000300013.
- LEHN, C. R.; SCHMITT, J. L.; WINDISCH, P. G. Aspectos do desenvolvimento vegetativo de *Rumohra adiantiformis* (Forst.) Ching (Pteridophyta, Dryopteridaceae), em condições naturais. **Revista de Estudos**, v. 25, n. 2, p. 19-28, 2002.
- LOUREIRO, G. H.; CURTO, R. D. A.; ROSOT, N. C.; MARANGON, G. P.; VARGAS, J. F. Ajuste de modelos volumétricos por classe diamétrica e para todas as classes em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba. **Anais**. [Curitiba]: Malinovski Florestal, 2012. Disponível em: <http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Trabalhos/04-Manejo_Plantadas/MFPlantadas-Artigo-02.pdf>. Acesso em: 6 set. 2017.
- MAGNUSSEN, S.; REED, D. **Knowledge reference for national forest assessments: modelling for estimation and monitoring**. [S.l.]: FAO-IUFRO, 2004. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/17111/en/>>. Acesso em: 6 set. 2017.
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005. DOI: 10.1590/S0100-67622005000100013.
- OLIVEIRA, M. F.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C.; SANTOS, W. C. **Equação de volume para um plantio de *Araucaria angustifolia* em Rio Negro – PR**. Colombo, 2011. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 275).
- PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba, 1997. 316 p.
- PEREIRA, A. B. **Introdução ao estudo das pteridófitas**. 2. ed. Canoas: Ed. ULBRA, 2003. 192 p.

QUEIROZ, W. T. **Amostragem em inventário florestal**. Belém, PA: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2012. 441 p.

RATUCHNE, L. C. **Equações alométricas para estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista**. 2010. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR.

ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M.; RADOMSKI, M. I.; LACERDA, A. E. B.; GARRASTAZÚ, M. C.; CARDOSO, D. J.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; KELLERMAN, B. **Bosque Modelo Caçador: concepção e processo de estruturação**. Colombo, 2013. 100 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 258).

SANTA CATARINA. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de Santa Catarina. **Inventário florístico florestal de Santa Catarina**. Florianópolis, 2005. 170 p. Relatório do projeto piloto.

SANTANA, W. M. S.; CALEGARIO, N.; ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F. Effect of age and diameter class on the properties of wood from clonal Eucalyptus. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2012.

SANTOS, S. F.; SOUZA, A. F. Estrutura populacional de *Syagrus romanzoffiana* em uma floresta ripícola sujeita ao pastejo pelo gado. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 1, p. 591-593, 2007.

SANTOS, W. C. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Manual de campo: procedimentos para coleta de dados biofísicos e socioambientais**. Brasília, 2015. 67 p. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/informacoes-florestais/inventario-florestal-nacional-ifn/documentos/manual-de-campo-ifn/3028-manual-de-campo/file>>. Acesso em: 09 fev. 2018.

SCHIKOWSKI, A. B.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Modelagem do crescimento e de biomassa individual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 75, p. 269-278, 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.75.503.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N.; LOPES, V. G. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul – RS. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 321-332, 2013. DOI: 10.5902/198050989278.

SIQUEIRA, J. D. P. **Tabelas de volume para povoamentos nativos de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze, no sul do Brasil**. 1977. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SOARES, C. P. B. S.; OLIVEIRA, M. L. R. de. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 533-539, 2002. DOI: 10.1590/S0100-67622002000500002.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

TONINI, H.; ARCO-VERDE M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005000700002.

VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V. **Inventário florístico florestal de Santa Catarina: v. 3: Floresta Ombrófila Mista**. Blumenau: Edifurb, 2013. 435 p.

YOSHITANI JUNIOR, M. **Avaliação biométrica e econômica de plantios de *Pinus taeda* L. em Santa Catarina**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ZIEMMER, J. K.; BEHLING, A.; DALLACORTE, A. P. Quantificação da biomassa e dos teores de carbono de pteridófitas arborescentes em Floresta Ombrófila Mista. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 1, n. 1, p. 60-73, 2016.

Embrapa

Florestas