



REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE MÉTODOS NÃO-DESTRUTIVOS DE CUBAGEM DE ÁRVORES EM PÉ VISANDO À DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA

NICOLETTI, Marcos Felipe¹; CARVALHO, Samuel de Pádua Chaves e²;
BATISTA, João Luis Ferreira³

RESUMO – (REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE MÉTODOS NÃO-DESTRUTIVOS DE CUBAGEM DE ÁRVORES EM PÉ VISANDO À DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA). As florestas são vistas como excelentes acumuladoras de biomassa e carbono da atmosfera, contribuindo para a redução do efeito estufa. Para ter conhecimento da biomassa acumulada nas árvores é necessário realizar determinadas técnicas para levantar o volume de madeira dos povoamentos. Desta forma, objetivou-se neste trabalho apresentar os principais temas até então referentes a determinação do volume e da biomassa florestal sob forma não destrutiva. Por meio deste pode-se dizer que com o surgimento de novos dendrômetros há sim a possibilidade de obter estas estimativas de modo confiável.

Palavras-chave: amostragem não destrutiva, biomassa, modelos empíricos.

ABSTRACT – (LITERATURE REVIEW ON NON-DESTRUCTIVE METHODS FROM TREE SCALING STANDING IN ORDER TO DETERMINE THE BIOMASS). The forests are seen as a great atmospheric carbon and biomass pools, contributing for the reduction of the greenhouse effect. The quantification of the tree pool biomass is based on mensurational techniques that determine the individual stand tree volume. Thus, the aim of this study was to present the main themes so far regarding the determination of volume and forest biomass under non-destructively. Hereby it can be said that with the advent of new dendrometers is possible to obtain these estimates reliably.

Keywords: nondestructive sampling, biomass, empirical models.

¹ Engenheiro Florestal, Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages (SC).
a2mfn@cav.udesc.br;

² Engenheiro Florestal, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba (SP).
spcarvalho@usp.br;

³ Engenheiro Florestal, Phd, Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais, ESALQ - Universidade de São Paulo, Caixa Postal 9, 13400-970, Piracicaba (SP). parsival@usp.br.

1 INTRODUÇÃO

As florestas, durante os últimos anos, têm recebido crescente atenção no que se refere ao seu potencial para contribuir com a redução do “efeito estufa”, por meio de sua capacidade de armazenar carbono durante o processo natural de produção de biomassa. A expansão da cobertura florestal global apresenta-se como uma possibilidade para aumentar o estoque de carbono terrestre armazenado e diminuir o crescimento da concentração de gás carbônico na atmosfera (HOSOKAWA *et al.*, 1998).

Dentre os inúmeros benefícios que as florestas proporcionam, a estocagem de carbono na forma de maciços florestais, ou na forma de produtos e bens duráveis é uma das alternativas de otimização do carbono fixado. Estas florestas podem reduzir a temperatura global, evitando prejuízos irreparáveis ao ambiente; aumentar a renda da sociedade; contribuir com diversos aspectos de importância ambiental; além de recuperar terras consideradas pouco ou totalmente improdutivas (URBANO, 2007).

Caldeira (2003) ressalta que a quantificação da biomassa fornece informações sobre magnitude, qualidade e

distribuição dos produtos da floresta que não se encontram nos tradicionais mapas dos ecossistemas. Seu conhecimento também é importante do ponto de vista ecológico, porque permite estabelecer a produção real de um sítio florestal além de permitir conhecer o crescimento, a produtividade e o ciclo dos nutrientes nos ecossistemas florestais tanto naturais como implantados.

A quantificação da biomassa florestal pode ser feita por dois métodos, o método direto, onde há a determinação do peso da biomassa fresca e seca e o método indireto, que estima a biomassa por meio de modelos matemáticos a partir de dados de inventários florestais. Estes fazem uma relação das variáveis como o volume da madeira, o DAP (diâmetro à altura do peito), altura comercial e total das árvores e o diâmetro da copa, os quais são relacionados com a biomassa (TEIXEIRA, 2003).

Levando em consideração que a obtenção dessas variáveis dendrométricas é de extrema importância para a predição da biomassa e que existem no mercado inúmeros dendrômetros capazes de medir o diâmetro ao longo do fuste de forma indireta para o cálculo do volume e da biomassa. Visando que através desta metodologia não

há necessidade de derrubar as árvores, fato este que é de suma importância em áreas de conservação. O grande potencial de fixação de carbono na biomassa das árvores e o crescente interesse global por este assunto, torna-se necessário o desenvolvimento de métodos alternativos de estimativa de biomassa e carbono. Desta forma, estudos para verificar e adequar um método preciso na estimativa volumétrica através da cubagem não destrutiva de árvores facilita o planejamento e a valorização dos povoamentos florestais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Métodos de Medição do Volume da Madeira

Tendo em vista os métodos de medição existentes, sabe-se que o tronco de uma árvore se assemelha a determinados sólidos geométricos. A base da árvore se assemelha a um neilóide, a face intermediária a uma parabolóide e a extremidade final a um cone (GOMES, 1957; CAMPOS, 1988; SCOLFORO e FIGUEIREDO FILHO, 1993; AVERY e BURKHART, 1997). Se fosse possível determinar o início e o fim de cada figura geométrica ao longo do tronco, bastaria

aplicar fórmulas correspondentes aos vários sólidos geométricos ocorrentes ao longo do perfil do tronco e o volume real da árvore seria obtido. Porém, este processo é praticamente impossível, o que levou ao desenvolvimento de metodologias (fórmulas) para fazer a cubagem rigorosa (GOMES, 1957). Prática esta que a árvore é dividida em seções, de comprimentos iguais ou não; por meio da utilização de fórmulas geométricas o volume dessas seções é obtido e, por adição destas partes, o volume da árvore é calculado (FAO, 1973). Conforme este mesmo autor, citado por Belchior (1996), é o método direto de estimação do volume de árvores mais utilizado na rotina de inventários florestais.

As principais fórmulas empregadas na cubagem rigorosa são a de Smalian, a de Huber e a de Newton, considerando que estas são válidas quando as seções assemelham-se a um tronco de parabolóide de revolução (THIERSCH, 2002). Machado e Figueiredo Filho (2006) também apontam estes três métodos como os que têm sido empregados por florestais de todas as partes do planeta, principalmente pelas facilidades de usos que os mesmos apresentam.

Um fato importante, segundo Scolforo e Figueiredo Filho (1993), é que a

forma da árvore varia com a espécie, o espaçamento, a idade, o sítio e os tratamentos silviculturais. Como no Brasil o ritmo de crescimento das florestas plantadas e o manejo aplicado aos plantios de *Pinus* e *Eucalyptus* é completamente diferente do aplicado nas coníferas e folhosas do hemisfério norte, é imprescindível avaliar se métodos que são adequados naquelas regiões e também os que são para nossas condições e qual o nível de compatibilidade destes em plantios no Brasil.

Gomes (1957) comenta que as medições diamétricas eram feitas a 0,30; 1,30; 3,30; 5,30 e assim sucessivamente, de 2 em 2 metros, porém as distâncias entre medições diamétricas podem ser alteradas em função da forma e da rigorosidade do processo de cubagem. Scolforo (1998) recomenda as seguintes distâncias de medições para *Eucalyptus* e *Pinus*: 0,05; 0,07; 1,30; 2,30 com comprimentos de seções entre 1 e 2 metros. Segundo os autores, este comprimento deve ser tal que se controle ao máximo o efeito da conicidade e que as seções sejam regulares. Já para árvores nativas, Scolforo et al.(1994) estabeleceram as seguintes distâncias de medições dos diâmetros: 0,30; 0,70; 1,30;

2,00 e assim sucessivamente, de metro em metro, até a altura desejada para a cubagem.

A cubagem rigorosa deve ser realizada por classe de diâmetro e de altura. Nestas condições e dentro de tratamentos silviculturais semelhantes, espera-se que os indivíduos tenham forma semelhante e constante. Sendo assim, haverá uma constância nos volumes de todos os indivíduos pertencentes à mesma classe de altura e de diâmetro (GOMES, 1957).

De acordo com Cabacinha (2003) os métodos de cubagem rigorosa são divididos em métodos absolutos e relativos. Os métodos absolutos são aqueles em que o comprimento da seção (tora) não tem vínculo com o comprimento total da árvore. Nos métodos relativos, o comprimento da seção ou tora representa um percentual do comprimento total da árvore, permitindo a comparação dos volumes individuais de árvores de tamanho diferente, porém com a mesma forma.

Dentre os vários métodos de obtenção do volume dos fustes das árvores, entretanto, o método de cubagem através do xilômetro é o único que fornece o valor paramétrico do volume, ou seja, o volume verdadeiro. Os demais métodos de cubagem conhecidos resultam do uso de expressões

matemáticas que estimam com certa acuracidade o valor paramétrico do volume do fuste da árvore ou parte dele (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

A comparação dos volumes ditos reais, obtidos por diversos métodos de cubagem com o volume verdadeiro, obtido pelo xilômetro, pode não ser tão recente na história da atividade florestal. De acordo com Young et al. (1967), todos os livros texto de mensuração da Europa e América dos últimos cem anos, descreviam o método do xilômetro como aquele que determina o volume exato. Figueiredo Filho et al. (2000), Machado e Nadolny (1991), Martin (1984), Phillips e Taras (1987) e Young et al. (1967), utilizaram o xilômetro (técnica do deslocamento de água) como base para a comparação de vários métodos de cubagem, e até funções de afilamento e equações de volume.

Figueiredo Filho et al. (2000) utilizaram o xilômetro construído por Machado e Nadolny (1991) para testar a exatidão de três fórmulas tradicionais de cubagem (Smalian, Huber e Newton) e três métodos recentes (Spline Cúbica, Centróide e sobreposição de seções de Bailey). Além do volume total, os volumes comerciais para

laminação, serraria e celulose foram também avaliados neste estudo. Depois de analisados os erros médios absolutos, os autores concluíram que a fórmula de Huber é a mais exata dos seis procedimentos estudados e deve realmente ser usada em todas as circunstâncias.

2.2 Medição do Tronco de Árvores e Cubagem Rigorosa

Por outro lado, os autores anteriormente citados, que incluíram a fórmula de Smalian em seus estudos observaram que ela apresentou os piores desempenhos para estimar o volume verdadeiro. Fica claro também, o fato de que a fórmula de Smalian apresenta suas piores estimativas quando combinada com comprimentos de seção grandes, porém, o mesmo não acontece para comprimentos de seção menores. Fato este que é demonstrado por Machado e Figueiredo Filho (2006) revelando que a maioria das pesquisas desenvolvidas nesta área da dendrometria tem considerado como padrão o volume obtido por Smalian, dividindo-o a árvore em seções bastante curtas (20, 30 cm, etc).

Fato este verificado por Young et al. (1967) quando estudaram os erros na determinação do volume de toras

ocasionados pela utilização das fórmulas de Smalian e Huber. Os erros foram calculados para diferentes comprimentos de seção, espécies e presença ou não de casca. Os resultados apresentados indicam que os erros da fórmula de Huber são menores e estatisticamente diferentes dos erros de Smalian para seções de 2,44 e 4,88 m de comprimento. Porém, para comprimentos de seção menores não houve diferenças significativas.

Assim, Husch *et al.* (1982) indicam o uso de Smalian para comprimentos menores que 1,2 metros. Ribeiro da Silva (1942) e Tinoco (1941) citados por Gomes (1957) também encontraram resultados que não apresentaram diferença estatística nas médias de volume através da cubagem rigorosa de árvores de pinheiro bravo pelos métodos gráfico, de Smalian e de Huber.

Gomes (1957) comenta também que os processos de cubagem de Huber e Newton conduzem a valores diferentes. O mesmo autor concluiu que a diferença entre as médias dos volumes calculados com as fórmulas de Huber e Smalian, relativos a um mesmo grupo de troncos, não diferem significativamente, sendo, portanto, o uso de um ou de outro método ligado somente ao hábito do mensurador.

Segundo Campos (1988), a fórmula de Newton utilizada para a cubagem rigorosa se destaca pela precisão proporcionada na determinação volumétrica, uma vez que se exige um maior número de medições de diâmetros numa determinada seção do tronco. Este mesmo autor menciona que, independentemente da fórmula utilizada para cálculo do volume, quanto menor for o comprimento da seção, maior precisão será obtida na determinação volumétrica.

Phillips e Taras (1987) compararam as fórmulas de Smalian, Huber, Newton, Grosenbaugh, tronco de neilóide e tronco de cone. Os métodos de cubagem foram comparados em diferentes comprimentos de seção, para diferentes classes diamétricas e com medidas tomadas pela suta e fita diamétrica. Os resultados mostraram que o melhor desempenho em relação ao xilômetro foi obtido pelas fórmulas de Newton e de Huber, os quais forneceram estimativas melhores do que as outras três fórmulas, independente do instrumento de medição.

Husch *et al.* (1982) destacam que a fórmula de Newton é exata para todas as formas que uma seção possa assumir. Entretanto, seu uso não tem sido frequente, devido o maior número de diâmetros que o mesmo exige, sendo mais indicado para

trabalhos de pesquisa (SCHREUDER *et al.*, 1993).

Machado e Nadolny (1991) compararam, para *Pinus elliottii*, os métodos de cubagem absolutos de Smalian, Huber e Newton para os comprimentos de 1, 2, 4 e 6 metros, para árvores situadas em três classes de diâmetro (inferior, média e superior). Os autores utilizaram o volume obtido no xilômetro como base de comparação e concluíram que as fórmulas de Huber e Newton foram as que apresentaram melhor desempenho, tendo uma tendência a menores erros na porção intermediária do fuste. Nas seções do cone (ponta) os erros foram altos, entretanto não foram considerados significativos, pois são peças de pequeno volume e pouco representativos no volume total. Quando consideradas as seções da base, as fórmulas não foram satisfatórias. A fórmula de Huber na maioria dos casos apresentou melhor desempenho que as de Newton e Smalian, sendo essa última pior que as demais.

Machado *et al.* (2006) comparando diferentes métodos de cubagem absolutos (Smalian, Huber, Newton e Centróide) em 4 classes diamétricas e com diferentes comprimentos de seções (1, 2 e 4m) com os respectivos volumes obtidos pelo xilômetro,

para Bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham.) encontraram diferença estatística em todos os tratamentos em relação ao xilômetro, sendo que todos os volumes tenderam a superestimar quando comparados com o volume verdadeiro. Dentre os métodos de cubagem, o método de Huber apresentou tendência de ser o mais exato, apesar de ter apresentado diferença estatística significativa com relação ao volume verdadeiro obtido através do xilômetro.

Manassés e Peichl (1986), Husch *et al.* (1982), também concluíram que o volume calculado pela fórmula de Huber, que mede apenas um diâmetro no centro da tora, é exato, quando a forma do tronco se aproximar de um cilindro. Contudo, se a forma do tronco for cônica ou tender a de um neilóide, os erros no cálculo do volume podem ser consideráveis.

Machado e Nadolny (1993), quando compararam, também em *Pinus elliottii*, os métodos de cubagem relativos da FAO, Hohenald e o Método Gráfico, usando como base de comparação o xilômetro, concluíram que o método da FAO para 5 e 10 seções apresentou um desempenho ligeiramente superior à fórmula de Hohenald e que os volumes obtidos pelo método gráfico

tiveram um desvio pequeno em relação aos volumes obtidos no xilômetro para as classes de diâmetro inferior e média, como já era esperado, porém apresentou um desvio relativamente alto para a classe de diâmetro superior sem uma explicação lógica para isso.

2.3 Dendrômetros Ópticos e Cubagem Rigorosa Não-Destrutiva

A cubagem rigorosa é uma atividade realizada em separado das medições das unidades amostrais o que gera aumento no custo do inventário. Tal aumento pode ser reduzido se esta atividade for executada em medições simultâneas com as demais variáveis observadas, quando da medição das parcelas, contudo sem o abate das árvores (LEITE e ANDRADE, 2002).

Assim, a cubagem não destrutiva é um método indireto que pode ser utilizado para obtenção do volume e biomassa, porém, requer a medida de diâmetros ao longo do fuste da árvore em pé. Para suprir esta prática desenvolveram os dendrômetros ópticos, evitando assim que seja necessário escalar na árvore e medir os diâmetros com suta ou fita métrica, ou outro instrumento acoplado à hastes ou cabos. Trabalho este que não é muito prático e requer uma pessoa

treinada em subir em árvores, sendo demorado e de grande dificuldade, pois se deve trabalhar em alturas elevadas, podendo levar a erros de medição (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006). Assim, os dendrômetros ópticos foram construídos especificamente para medir diâmetros a qualquer altura ao longo do tronco, surgindo novas metodologias para estimativa do volume de árvores em pé, através do Pentaprisma de Wheeler, Relascópio de Bitterlich, o dendrômetro de Barr e Stroud, o Criterion 400 e outros (ARNEY e PAINE, 1972).

O Pentaprisma de Wheeler, também chamado de cálibre ótico de Wheeler, é um dos mais comuns instrumentos óticos (WHEELER, 1962). Foi construído para medir diâmetros a qualquer altura e a qualquer distância da árvore. Consiste basicamente em um tubo de seção quadrada ou retangular, graduado na parte externa, possuindo dois prismas pentagonais no interior do tubo. O operador pode segurar o aparelho em suas mãos para medir os diâmetros ou montá-lo num tripé. É possível também fixar o hipsômetro Suunto a ele, como forma de controlar as alturas ao longo do fuste nas quais serão medidos os

diâmetros (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

Avery e Burkhart (1997) afirmaram que testes com este aparelho indicaram que os diâmetros ao longo do fuste, até 50 metros de altura acima do solo, podem ser lidos com grande acuracidade. A seguir, têm-se alguns trabalhos no Brasil em que a cubagem não destrutiva foi utilizada com este instrumento, segundo SCOLFORO et al. (1998) para *Pinus elliottii*; FISCHER et al. (2001) em *Pinus taeda*; SANQUETTA et al. (2003) para *Araucaria angustifolia*; CANALEZ et al. (2006a) para lauráceas; CANALEZ et al. (2006b) em povoamentos de *Araucaria angustifolia* e *Ilex paraguariensis*; entre outros.

O Relascópio de Bitterlich é outro instrumento que além das várias finalidades também possui a capacidade de medir diâmetros a diferentes alturas. Desenvolvido por Walter Bitterlich no final da década de 40 é um aparelho que através de escalas possibilita medir variáveis usualmente avaliadas em inventários florestais. Entretanto, vendo que o relascópio era acurado apenas para medição de diâmetros a pequenas distâncias, Bitterlich desenvolveu na década de 70 o Telerelascópio. Este além de fazer todas as funções do relascópio é

capaz de medir diâmetros à distância com precisão (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006). Parkey (1997) demonstra que o telerelascópio pode ser utilizado em amostragem não destrutiva com precisão.

Recentemente, a tecnologia a laser tem sido muito usada nos últimos anos em inúmeras áreas através da construção de instrumentos apropriados. A empresa LASER TECHNOLOGY, INC. em 1987 começou trabalhar no desenvolvimento desta tecnologia para medição de variáveis dendrométricas (CARR, 1992, 1993).

Com isto, surgiu o Criterion, modelo 400, que segundo LIU et al. (1993) pode ser considerado a versão digital do Relascópio de Bitterlich, podendo ser usado também para medir diâmetro a qualquer altura, alturas, classe de forma, área basal do povoamento, inclinação do terreno em graus e em porcentagem, distâncias horizontais e inclinadas, ângulos horizontais e coordenadas para levantamentos topográficos, apresentados por um mostrador digital. Sendo que o mesmo tem capacidade de armazenar e guardar na memória podendo transferir para um computador para a execução de cálculos. Atualmente, existe no mercado um novo modelo do dendrômetro, o CriterionTM RD 1000, o qual extinguiu as

medições de levantamentos topográficos que o tornava um aparelho bastante caro. Sendo que este ainda não possui pesquisas comprovando a sua acurácia.

O Serviço Florestal dos Estados Unidos a partir de 1990 iniciou os testes com o Criterion 400 para verificar o funcionamento do aparelho, comprovando que o mesmo possuía bom desempenho nas diversas tipologias do país (CARR, 1992; DITUNO, 1993). LIU et al. (1993) também concluíram que o Criterion 400 medindo diâmetros a diferentes alturas forneceu medidas com precisão.

Freitas e Wichert (1998) compararam a utilização do Criterion 400 com instrumentos tradicionais usados na medição de altura (Blume Leiss e Suunto) e do diâmetro (suta e fita métrica) e concluíram que o Criterion 400 apresentou variação significativa apenas dos resultados para o diâmetro, restringindo sua utilização. Levando em consideração que os erros provenientes do diâmetro são os que possuem maior peso no cálculo do volume, representando um erro de 1 cm na mensuração do diâmetro corresponderá a um máximo de 19% no volume, enquanto que na altura apenas 14% (COUTO et al., 1989).

Parkey e Matney (1998) compararam a utilização de três dendrômetros ópticos (Pentaprisma de Wheeler, Telerelascópio e o Criterion 400) na predição do volume, concluindo que não houve diferença significativa entre os mesmos. Entretanto, o Criterion 400 foi o instrumento que apresentou a melhor acurácia para o diâmetro e altura, e que o Pentaprisma de Wheeler foi o que obteve os piores resultados.

Williams et al. (1999) testaram a precisão dos dendrômetros ópticos Barr & Stroud FP15 e o Criterion 400, resultando que as medidas de diâmetro realizadas pelo dendrômetro Barr & Stroud foram mais precisas que o Criterion 400 e para altura não houve diferença significativa entre ambos instrumentos. Verificaram também que o único fator que influenciou na medição do diâmetro e da altura foi a distância entre o aparelho e a árvore. Sendo que o Criterion apresentou variação em ambas variáveis e o Barr & Stroud somente para altura com o aumento da distância.

Kalliovirta et al. (2004) avaliaram o funcionamento de um outro instrumento capaz de realizar medidas indiretas do diâmetro, o relascópio a laser, o qual é a combinação de um relascópio com um

dendrômetro. Comparando os resultados obtidos, concluíram que o relascópio a laser demonstrou um erro padrão maior tanto para altura como para o diâmetro em relação ao Criterion 400 e ao Barr & Stroud. A acurácia foi dependente da distância entre o aparelho e o objeto, demonstrando também que o mesmo deve ser usado quando a floresta possui boa visibilidade.

Cabacinha (2003) visando estimar o volume suprimido a cubagem rigorosa testou o método geométrico com o diâmetro correspondente à altura relativa $(ht-2)/2$ medidos com o Pentaprisma de Wheeler e com o Relascópio de Bitterlich, porém, não encontrou resultados confiáveis. Este autor também determinou que a melhor intensidade amostral de árvores por parcela para estimativas volumétricas precisas foi de cinco árvores, quando a mensuração dos diâmetros foi a 0,3 m, 1,30 m e na altura relativa para a aplicação do método geométrico.

Nicoletti *et al.* (2012) avaliou os métodos existentes para determinação da biomassa do tronco sob forma não destrutiva, e verificou a influência que a medição de variáveis por meio dos dendrômetros a laser (Criterion 400 e RC3H) exercem sobre a predição com os modelos

empíricos existentes no meio florestal, para árvores individuais de *Eucalyptus* sp.. Assim, estes consideraram que todos os modelos testados apresentaram um bom ajuste e que o Criterion forneceu os melhores resultados em termos de erros de predição.

3 CONCLUSÃO

Deste modo, percebe-se que há inúmeros equipamentos existentes no mercado para obtenção das principais variáveis dendrométricas com qualidade. A forma não destrutiva de obtenção pode auxiliar na determinação e predição do volume e da biomassa florestal sem a necessidade de derrubar as árvores.

4 REFERÊNCIAS

- ARNEY, D.J.; PAINE, D.P. Tree and stand volumes using height accumulation and telescopic Spiegel-relaskop. **Forest Science**, Washington, v.18, n.2, p.159- 168, June 1972.
- AVERY, T.E.; BURKHART, H.E. **Forest measurements**. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 408p. (McGraw-Hill series in forest resources).
- BELCHIOR, P.R.M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata**

secundária no município de Rio Vermelho, MG. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer.** Rome: FAO, 1997. 55p.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa.** 2003. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CALDEIRA, M.V.W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná.** Curitiba, 2003. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal – UFPR. 176p.

CAMPOS, J.C.C. **Dendrometria.** Viçosa: UFV, 1988. 43p.

CANALEZ, G.G.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R. Dinâmica da estrutura da comunidade de lauráceas no período 1995-2004 em uma floresta de araucária no sul do estado do Paraná, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.4, p.357-367, 2006a.

CANALEZ, G.G.; CÔRTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R.; BERNI, D.M. Dinâmica da *Araucaria angustifolia* (Bert.) o. Ktze. e *Ilex paraguariensis* St. Hil. em duas Florestas de Araucária no estado do Paraná, Brasil. **Revista Ambienta**. v. 2, n. 1, Jan/Jun. 2006b.

CARR, W. Use of laser technology for tree measurement – present use and future development. Paper presented at Modern methods of estimating tree and log volume and increment. **Conference and Workshop** (IUFRO S4.02). June 14-16, West Virginia University, Morgantown, WV, USA. 8p. 1993.

CARR, W. **Using laser technology for forestry and engineering applications.** Compiler, v.10, n.4, p. 5-16. 1992.

COUTO, H.T.Z.; BATISTA, J.L.F.; RODRIGUES, L.C.E. "Mensuração e gerenciamento de pequenas florestas". **Documentos florestais**, n. 5, p. 1-37, 1989.

DITUNO, E. Criterion model 400 use for strip cruising. **Unpublished report.** US Forest Service, Clear water N.F. Orofino, 1p. 1993.

FAO—FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Manual of forest inventory, with special reference to mixed tropical forest.** Roma, 1973. 200p.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; CARNEIRO, M. R. A. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). **Canadian Journal of Forest Research**, Toronto, v. 30, n. 6, p. 990-997, June 2000.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J.R.S.; JUNIOR, F.W.A.; MELLO, J.M.; MAESTRI, R.. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.167-188, 2001.

FREITAS, A.G.; WICHERT, M.C.P.
Comparação entre instrumentos tradicionais de medição de diâmetro e altura com o Criterion 400. IPEF, **Circular Técnica**, n. 188, Piracicaba, 1998.

GOMES, A.M.A. **Medição dos arvoredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa, 1957. 413p.

HOSOKAWA, R.T.; MOURA, J.B.; CUNHA, U.S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Editora da UFPR. Curitiba, 1998. 162p.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.E. **Forest mensuration**. 3.ed. New York: Ronald Press, 1972. 410 p.

KALLIOVIRTA, J.; LAASASENAHO, J.; KANGAS, A. Evaluation of the Laser-relascope. **Forest Ecology and Management**. v.20, p.181-194, 2004.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

LIU, C.J.; HUANG, X.; EICHEMBERGER, J.K. **Using laser technology for measuring trees**. Paper presented at Modern Methods of estimating tree and log volume and increment conference and workshop (IUFRO S4.02). Junho 14-16, West Virginia University, Morgantown, WV, USA. 1993. 13p.

MACHADO, S. A.; NADOLNY, M. C. Comparação de métodos de cubagem de árvores e de diversos comprimentos de seção. In: CONGRESSO FLORESTAL E DO MEIO AMBIENTE DO PARANÁ, 3.,

1991, Curitiba. **Anais**. Curitiba: APEF, 1991. v.1, p. 89-104.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2006. 316 p.

MACHADO, S.A.; NADOLNY, M.C. Acuracidade da cubagem rigorosa de árvores pelos métodos de Hohenadl, FAO e Gráfico, comparativamente ao xilômetro. In: **CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO**, 1.; **CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**, 7., 1993, Curitiba. Anais... Curitiba: SBS-SBEF, 1993. p.478-480.

MACHADO, S.A.; TÊO, S.J.; URBANO, E.; FIGURA, M.A.; SILVA, L.C.R. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Cerne**, Lavras, v.12, n. 3, p. 239-253, jul./set. 2006.

MAESTRI, R.; SANQUETTA, C.R.; MACHADO, S.A.; SCOLFORO, J.R.S.; DALLA CÔRTE, A.P. Viabilidade de um projeto florestal de *Eucalyptus grandis* considerando o sequestro de carbono. Curitiba, 2004. **Revista Floresta**. n. 34 (3), Set/Dez. p.347-360.

MANASSÉS, J.P.; PEICHL, B. Medição da madeira e inventário florestal. In: **Manual do técnico florestal: apostila do Colégio Florestal de Irati**. Campo Largo: Ingra, 1986. v.3, p.88.

MARTIN, A. J. Testing volume equation accuracy with water displacement techniques. **Forest Science**, Bethesda, v. 30, n. 4, p. 41-50, 1984.

- NICOLETTI, M.F. ; BATISTA, J.L.F. ; CARVALHO, S.P.C. ; CASTRO, T.N. Acurácia de dois dendrômetros ópticos na cubagem não destrutiva para a determinação da biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira (Impresso)**, v. 32, p. 23-33, 2012.
- PARKER, R.C. Nondestructive Sampling Applications of the Tele-Relaskop in Forest Inventory. **Southern Journal of Applied Forestry**. v.21, n.2, p. 75-83, 1997.
- PARKEY, R.C.; MARTNEY, T.G. Comparison of Optical Dendrometers for Prediction of Standing Tree Volume. **Southern Journal of Applied Forestry**. USA, v.23, n.2, p. 407-417, 1998.
- PHILLIPS, D. R.; TARAS, M. A. Accuracy of log volume estimates by density and formulas compared with water displacement. **Forest Products Journal**, Morgantown, v. 37, n. 10, p. 37- 42, Oct. 1987.
- SALATI, E. Emissão x sequestro de CO₂ - uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: **Seminário emissão x sequestro de CO₂ - uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce. p. 15-37, 1994.
- SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; EISFELD, R. L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Vol. 5, n. 1, Jan/Jun 2003.
- SCHREUDER, H.T.; GREGOIRE, T.G.; WOOD, G.B. **Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory**. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1993. 446 p.
- SCOLFORO, J.R.; RIOS, M.S.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M.; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. **Cerne**, Lavras/MG. v.4, n.1, p.100-122, 1998.
- SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal: medição e volumetria de árvores**. Lavras: UFLA/ FAEPE, 1998. 310p. (Curso de especialização “*lato sensu*” por tutoria à distância: manejo de Florestas Plantadas e Florestas Nativas).
- SCOLFORO, J.R.S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Mensuração florestal 2: volumetria**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 126p.
- SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M.; ALMEIDA LIMA, C.S. Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. **Cerne**, Lavras/MG, v.1, n.1, p.123-134, 1994.
- TEIXEIRA, L.M. **Influência da Intensidade de Exploração Seletiva de Madeira no Crescimento e Respiração do Tecido Lenhoso das Árvores em uma Floresta Tropical de Terra-Firme na Região de Manaus**. Manaus, 2003. Dissertação Mestrado - INPA/UFAM. 61p.
- THIERSCH, C.R. **Modelagem da densidade básica, do volume e do peso seco para plantios de clones de *Eucalyptus* spp.** 2002. 197 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

URBANO, E. **Quantificação e estimativa da biomassa aérea e do carbono fixado em árvores de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba/PR.** Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – UFPR. 160p.

WHEELER, P. R. Pentaprism Caliper for upper stem diameter measurements. **Journal of Forestry**, n. 60, p.877-78, 1962.

WILLIAMS, M.S.; CORMIER, K.L.; BRIGGS, R.G.; MARTINEZ, D.R. Evaluation of the Barr & Stroud FP15 and Criterion 400 Laser Dendrometers for Measuring Upper Stem Diameters and Heights. **Forest Science**. v.45, n.1, p. 53-61. 1999.

YOUNG, H. E.; ROBBINS, W. C.; WILSON, S. Errors in volume determination of primary forest products. **Pulp & Paper Magazine of Canada**, Quebec, v. 68, p. 389-394, 1967.