

COMUNICAÇÕES TÉCNICAS FLORESTAIS

VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS



UnB



MMA

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

ISSN 1517-1922



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

**José Imaña Encinas
Gilson Fernandes da Silva
Iuri Ticchetti**

Comunicações Técnicas Florestais

v.4, n.1

Brasília, outubro de 2002

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente: Fernando Henrique Cardoso

Vice-Presidente: Marco Antonio de Oliveira Maciel

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

Ministro: José Carlos Carvalho

Secretário Executivo: Marcos Vinicius Caetano Pestana

Secretaria de Biodiversidade e Florestas

Secretário: José Pedro de Oliveira Costa

Diretor do Programa Nacional de Florestas: Raimundo Deusdará Filho

Gerente do Projeto de Uso Sustentável dos Recursos Florestais: Newton Jordão Zerbini

Gerente do Projeto de Reflorestamento e Recuperação de Áreas Degradadas: Hélio dos Santos Pereira

A série **Comunicações Técnicas Florestais** é uma publicação que visa divulgar trabalhos originais de pesquisa e de informação, de todas as áreas de Engenharia Florestal. A publicação deste fascículo foi patrocinada pela Diretoria do Programa Nacional de Florestas (DIFLOR) do Ministério do Meio Ambiente.

Os textos são de exclusiva responsabilidade dos respectivos autores. O Ministério do Meio Ambiente não se responsabiliza pelas opiniões emitidas pelos autores.

O total ou parte do texto só poderá ser reproduzido com prévia comunicação escrita do Comitê Editorial desta série técnica.

Comitê Editorial Comunicações Técnicas Florestais

Departamento de Engenharia Florestal

Universidade de Brasília

Caixa Postal 04357

70919-970 Brasília, DF

Fax: 061 347.0631

Ministério de Meio Ambiente

Programa Nacional de Florestas

Esplanada dos Ministérios

70068-900 Brasília, DF

Fax 061 317.7936

Projeto gráfico da capa: Ivanise Oliveira de Brito

Ficha Catalográfica

elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília

Imaña Encinas, José

I31 Variáveis dendrométricas / José Imaña Encinas ...
[et al.]. Brasília : Universidade de Brasília, Departamento
de Engenharia Florestal, 2002.

102p. : il. (Comunicações técnicas florestais; v.4,
n.1)

ISBN 85-87599-07-0

1. Dendrometria. 2. Engenharia florestal medição.
I. Silva, Gilson Fernandes da. II. Ticchetti, Iuri. III. Título.
IV. Série

CDU 634.0.5

Prefácio

As árvores constituem recursos naturais renováveis fundamentais para o desenvolvimento de um país. Muitas civilizações e culturas foram medidas em função do conhecimento que detinham sobre as formações florestais. Nessa filosofia, o Programa Nacional de Florestas (PNF) assume entre suas diversas ações, a responsabilidade de nortear diretrizes básicas para a manutenção do equilíbrio ecológico do meio ambiente, contribuindo entre outros, em programas de desenvolvimento sustentável dos setores produtivos florestais.

A existência no País de vastos recursos florestais constitui sério desafio no que se refere a sua manutenção para as próximas gerações. Os indiscutíveis benefícios que acarretam o correto conhecimento dos componentes que integram as florestas permitirão o desenvolvimento coerente de planos de manejo florestal, atendendo assim a sustentabilidade do meio ambiente dos ecossistemas florestais brasileiros. Para que os planos de manejo possam adquirir a pertinente importância ecológica, econômica e estratégica, se faz necessário o adequado e detalhado conhecimento dos seus componentes. Assim, para atingir o pleno desenvolvimento do uso de recursos florestais, a dendrometria ocupa lugar de destaque, uma vez que o indivíduo árvore deve ser conhecido em toda a sua magnitude. Nesse sentido, o PNF se faz partícipe na contribuição que a obra Variáveis Dendrométricas oferecerá ao setor florestal. A cuidadosa recompilação bibliográfica que apresenta o tratado, certamente estará contribuindo de modo significativo ao melhor conhecimento da mensuração florestal e em consequência, aos planos de manejo.

Raimundo Deusdará Filho
Diretor do PNF
Ministério do Meio Ambiente

Apresentação

No intuito de contribuir ao desenvolvimento do setor florestal e na intenção de apresentar avanços tecnológicos da mensuração florestal, é que foi elaborada a presente obra, orientada ao acompanhamento da oferta da disciplina de Dendrometria.

Esta obra foi concebida e elaborada quando o autor Prof. Dr. José Imaña Encinas em 2001, ficou como Professor Visitante e bolsista da CAPES no Instituto de Silvicultura Tropical da Universidade de Göttingen, Alemanha.

De retorno à Universidade de Brasília, juntamente com o apoio do Professor Dr. Gilson Fernandes da Silva e do aluno do curso de Engenharia Florestal Iuri Ticchetti, a obra foi concluída e estruturada no seu atual formato.

Pretende-se publicar proximamente um segundo volume com assuntos complementares à presente obra. Nesse sentido os autores agradecem de antemão toda crítica e sugestão construtiva

Tabela de Conteúdo

		página
	Prefácio	
	Apresentação	
1	Definição da dendrometria	1
1.1	Objeto das medições	3
1.2	Unidades de medida	3
1.2.1	Escalas	6
1.3	Variáveis e erros	8
1.4	Conceito de distâncias	10
1.5	Métodos para medir distâncias	15
1.5.1	Métodos diretos	15
1.5.2	Métodos indiretos	20
1.6	Pontos cardeais	23
1.6.1	Bússola geodésica	24
1.6.2	Bússola Suunto	24
1.7	Distribuição espacial	26
2	Árvore dendrométrica	27
2.1	Componentes da árvore	30
3	Diâmetros e circunferências	33
3.1	DAP, CAP	34
3.1.1	Medidores de casca	37
3.2	Instrumentos para medir diâmetros	38
3.2.1	Fita métrica	38
3.2.2	Fita diamétrica	38
3.2.3	Suta	39
3.2.4	Régua Biltmore	41
3.2.5	Suta de tarifa de Bitterlich	43
3.2.6	Suta finlandesa	44
3.2.7	Relascópio de Bitterlich	45
3.2.8	Pentaprisma de Wheeler	46
3.3	Classes diamétricas	47
3.3.1	Garfo diamétrico	48
3.4	Crescimento diametral	49

	página	
3.4.1	Dial-Dendro	49
3.4.2	Microdendrômetro	50
3.4.3	Fitotensiômetro	50
3.5	Réguas madeireiras	50
3.6	Diâmetro da copa	52
3.6.1	Fita métrica	53
3.6.2	Círculos de superposição	53
3.6.3	Cunha diamétrica	53
3.6.4	Medidor de diâmetro de copa de Bitterlich	54
3.6.5	Prisma medidor de diâmetro da copa	54
4	Área basal	56
4.1	Princípio de Bitterlich	57
4.1.1	Barra de Bitterlich	57
4.1.2	Prova de numeração angular	59
4.2	Parcela de área variável	63
4.2.1	Área basal por classe diamétrica	63
4.3	Instrumentos	65
4.3.1	Relascópio de espelho	65
4.3.2	Tubo basimétrico de Panamá	66
4.2.3	Prisma basimétrico	67
4.4	Outras áreas dasométricas	68
4.4.1	Área da superfície do fuste	68
4.4.2	Área de cobertura	69
4.4.3	Área de laminado	69
4.4.4	Área foliar	69
4.5	Instrumentos para medir áreas em gráficos	70
5	Altura	71
5.1	Pontos de medição da altura	71
5.2	Métodos de medida	72
5.2.1	Métodos baseados em princípios geométricos	73
5.3	Instrumentos de princípios geométricos	75
5.3.1	Hipsômetro de Merrit	75

	página	
5.3.2	Hipsômetro de Christen	77
5.4	Instrumentos de princípios trigonométricos	78
5.4.1	Hipsômetro Haga	80
5.4.2	Hipsômetro Blume Leiss	81
5.4.3	Hipsômetro de Weise	81
5.4.4	Clinômetro Suunto	82
5.4.5	Relascópio de Bitterlich	85
5.4.6	Clinômetro de Abney	85
5.4.7	Teodolito	86
5.5	Erros de medição	87
5.5.1	Correções para a declividade	87
5.6	Estrutura vertical da floresta	88
5.6.1	Classes de altura da regeneração natural	91
5.7	Prova de numeração angular vertical	91
6.	Relações hipsométricas	93
6.1	Fatores que afetam a relação hipsométrica	97
7.	Referências bibliográficas	99
	Índice	101

1. DEFINIÇÃO DA DENDROMETRIA

A palavra dendrometria deriva dos vocábulos gregos "dendro" = árvore e "metrum" = medida. Consequentemente a dendrometria trata das medições ou variáveis de medida na árvore. Por muito tempo considerou-se sinônimos do termo dendrometria as expressões dasometria (dasos = floresta), silvimetria (silva = floresta) e mensuração florestal.

Mencionar a importância da dendrometria no setor florestal não requer muita explicação, já que deve ser conhecida por todo pessoal vinculado à ciência florestal. O engenheiro ou técnico florestal freqüentemente fará uso da dendrometria como ferramenta básica de trabalho, especialmente no que tange à captação de dados dendrométricos para os respectivos planos silviculturais, de manejo florestal, de exploração madeireira, e da própria política e economia florestal (Imaña-Encinas, 1998). Deve-se ainda considerar que a árvore, e em conseqüência a floresta, representam um capital que rende juros. Portanto faz-se necessário determinar e calcular esse capital e os juros correspondentes. No conceito moderno da engenharia florestal, o manejo sustentável dos recursos florestais se refere a manter "esse capital" (por exemplo, certo volume de madeira) e explorar somente "os juros" (aumento ou crescimento desse volume de madeira).

A dendrometria surgiu quando o homem sentiu a necessidade de estimar ou determinar quantitativamente o que possuía em termos de recursos florestais, possivelmente no século 13. Hoje, nos países em desenvolvimento, a dendrometria procura adequar sua importância contribuindo fundamentalmente ao conhecimento e avaliação das florestas e seus recursos, na exploração racional e do próprio desenvolvimento do setor.

Considerando a existência de:

a) *Florestas de Produção*, que têm por objetivo suprir os mercados com matéria prima florestal; no princípio da produção sustentada das florestas,

b) *Florestas de Proteção* que têm como função proteger a fauna, flora, solo e água mantendo o equilíbrio ecológico do local; e

c) *Florestas de Recreação* que oferecem ambientes de lazer, onde as árvores serão abatidas em forma seletiva;

o técnico florestal deve estar ciente e familiarizado com as mudanças que poderão ocorrer nestas florestas. Nesse sentido a prática da dendrometria torna-se imprescindível em qualquer tipo de floresta.

O conceito da medição florestal consiste em assinalar dentro da floresta, árvore ou parte dela, números às propriedades diretamente ponderáveis como objetos físicos ou eventos. Prodan *et al.* (1997) definem a mensuração florestal como a ciência que se ocupa da medição de florestas e seus produtos com a aplicação dos princípios básicos da matemática, estatística, geometria e física. Consequentemente a dendrometria também poderá ser definida como a matemática de medição quantitativa e qualitativa da árvore e seus produtos. Ferreira de Souza (1973) descreve a dendrometria como a determinação da massa lenhosa e das leis de crescimento, numa árvore e num grupo de árvores ou maciços florestais.

Para fins didáticos a mensuração florestal pode-se classificar em três áreas principais de atuação: a dendrometria, que considera a árvore como objeto de medição; a dasometria ou inventário florestal, que lida com os povoamentos florestais; e a epidometria, que trata das relações das variáveis dendrométricas com a idade da árvore, basicamente do estudo das taxas de crescimento das árvores e dos povoamentos.

A dasometria como doutrina, começa por ocupar-se da árvore como indivíduo e passa logo à coletividade ou massa/maciço florestal como objeto mensurável. Mackay (1964) indica que a dasometria ensina os fundamentos e técnicas operativas das produções florestais, e trata basicamente das medições da coletividade florestal (povoamentos).

Concluindo, a dendrometria como parte da ciência da mensuração florestal trata então fundamentalmente com a determinação ou estimação das variáveis dendrométricas (diâmetros, alturas, forma da árvore etc.) em árvores em pé ou abatidas, de seus produtos (como tábuas, lenha etc.), e da determinação das taxas de crescimento. Mede então, a árvore como um todo ou as suas partes diferenciáveis no aspecto tecnológico.

Considerando as peculiaridades expostas, define-se a dendrometria como o ***ramo da ciência florestal que trata da determinação e/ou estimação das dimensões das árvores, povoamentos e florestas, de seu crescimento e seus produtos.***

Num povoamento florestal estar-se-á referindo a estimativas feitas a partir de determinações ou estimações em pequenas parcelas. A determinação das variáveis mensuráveis apoia-se em métodos diretos, empregando o sistema de medidas correspondente. A estimação baseia-se em medições indiretas ou processos estatísticos.

1.1 Objeto das Medições

A dendrometria surge portanto para atender várias finalidades florestais, desde a inquietação de conhecer como a madeira poderá ser medida até a necessidade de interpretar com exatidão quando e o quanto uma floresta estará produzindo de um determinado produto. Portanto, nas medições dendrométricas, existirão objetivos comerciais, de ordenamento e de pesquisa (Silva e Paula Neto, 1979).

Considerando a árvore e a floresta como "capital florestal", existirá a necessidade premente de interpretar os juros em termos dendrométricos. Assim, faz-se também necessário medir e interpretar corretamente os produtos primários e secundários da árvore e da floresta.

1.2 Unidades de Medida

Quando se trata de medir um objeto, é necessário selecionar a unidade de medida em função da qual se expressará sua magnitude. Na América Latina, para medir as variáveis dendrométricas, foi adotado o sistema métrico decimal por ser considerado mais freqüente e de mais fácil manuseio que o sistema inglês ou outro sistema de medida. No Quadro 1, apresentam-se os principais fatores de conversão nos sistemas métrico e inglês.

O sistema inglês de medidas constitui a base da mensuração florestal nos Estados Unidos, Inglaterra, Canadá, Austrália, onde a ciência florestal está bastante evoluída.

A equivalência ao sistema métrico e vice-versa deve ser conhecida para a melhor compreensão da literatura pertinente.

Além das unidades inglesas utilizadas na mensuração florestal, existem também as japonesas, as alemãs e as russas, que muitas vezes deverão ser convertidas ao sistema métrico. Deve-se salientar que a Dendrometria, como ciência, teve o seu início na Alemanha no princípio do século dezoito, quando a floresta era usada como cotos de caça e a madeira recolhida como lenha. As referências históricas indicam que Doebel e Beckmann, na Alemanha, em 1759 apresentaram estudos e sugestões para medir a produção madeireira da floresta (Prodan, 1965). A partir de então várias unidades dendrométricas nasceram na Alemanha. Em 1906 os ingleses criaram em Dehra-Dun (Índia) a primeira escola de engenharia florestal nos trópicos e pela influência dos trabalhos desenvolvidos nesta escola, nas florestas tropicais da Ásia, as medidas inglesas são até hoje amplamente utilizadas.

Além das unidades mencionadas no Quadro 1, a literatura poderá registrar unidades como a légua, cordas de 25, 28 e 40 varas, quadras, arrobas etc. (Chapman e Meyer, 1949) e diversas combinações de equivalências, que o técnico florestal precisará utilizar de acordo com suas necessidades.

A título de exercício, se solicita efetuar os correspondentes cálculos de transformação das seguintes unidades:

- a) 67426 polegadas quadradas em hectares, pés quadrados, jardas quadradas
- b) 67426 pés-de-tábuas em metros cúbicos e pés cúbicos
- c) 67,426 hectares em metros quadrados, acres, jardas quadradas
- d) 67,426 hectares em milhas quadradas e pés quadrados
- e) 6742,6 cordas em metros cúbicos e pés cúbicos
- f) 674,26 acres em metros quadrados, hectares e cadenas quadradas

Quadro 1. Principais fatores de conversão

Equivalência em comprimento:		Equivalência em volume:	
1 centímetro	0.3937 polegadas	1 centímetro cúbico	0.061 polegada cúbica
1 metro	3.2808 pés	1 metro cúbico	35.3145 pés cúbicos
1 metro	1.0936 jardas	1 metro cúbico	423,7 pés-de-tábua
1 metro	39.37 polegadas	1 litro	61.0250 polegadas cúbicas
1 quilômetro	0.6214 milhas	1 litro	0.2642 galão (US)
1 polegada	2.54 centímetros	1 litro	0.0353 pé cúbico
1 polegada	0.083 pés	1 litro	1000 centímetros cúbicos
1 pé	0.3048 metro	1 polegada cúbica	16.3871 centímetros cúbicos
1 pé	12 polegadas	1 polegada cúbica	0.0163 litro
1 jarda	0.9144 metros	1 pé cúbico	0.02832 metro cúbico
1 jarda	36 polegadas	1 galão (US)	3.785 litros
1 jarda	3 pés	1 pé-de-tábua	0.00566 metro cúbico
1 milha	1.6093 quilômetros	1 corda (90 pés ³)	2.549 metros cúbicos
1 milha	1760 jardas		
1 milha	5280 pés		
Equivalência em massa:			
1 cadena	66 pés	1 quilo	2.2046 libras
1 cadena	792 polegadas	1 tonelada métrica	1.102 tonelada curta
1 cadena	22 jardas	1 tonelada métrica	0.9842 tonelada comprida
1 cadena	20.1168 metros	1 tonelada métrica	1000 quilos
1 tonelada métrica	2204.6 libras		
Equivalência em área:		1 libra	0.4536 quilo
1 centímetro quadrado	0.155 polegada ²	1 tonelada curta	0.9072 tonelada métrica
1 metro quadrado	10.764 pés ²	1 tonelada comprida	1.016 tonelada métrica
1 quilômetro quadrado	0.3861 milha ²	1 tonelada comprida	2240 libras
1 quilômetro quadrado	100 hectares		
1 hectare	0.003861 milha ²	Outras equivalências:	
1 hectare	2.471 acres	1 metro ² /ha	4.356 pés ² /acre
1 hectare	10000 metros ²	1 metro ³ /ha	14.2913 pés ³ /acre
1 polegada ²	6.4516 cm ²	1 pé ² /acre	0.2296 metro ² /hectare
1 pé quadrado	0.0929 metros ²	1 pé ³ /acre	0.0699 metro ³ /hectare
1 milha ²	2.59 quilômetros ²		
1 milha ²	259 hectares		
1 milha ²	640 acres		
1 acre	0.4047 hectare		

1.2.1 Escalas

Na mensuração florestal, como em qualquer outro campo que considera variáveis e suas correspondentes magnitudes, além das unidades de medida com que se trabalha, é necessário ter conhecimento das escalas, a fim de ordenar os valores dessas variáveis. Portanto, cada escala tem suas regras inerentes que ajudam a ordenar os dados e a informação que delas possa se obter.

a. *Escala Nominal*

Utiliza-se basicamente na enumeração dos objetos. Na mensuração florestal pode-se definir os tipos de floresta num mapa florestal simplesmente por números correspondentes por exemplo:

número 1 = floresta de *Pinus*

número 2 = floresta nativa

número 3 = floresta desbastada, etc.

Exemplo típico da escala nominal, é quando se trabalha com a estrutura de cartões de computador, onde um número identifica um objeto ou característica, como mostra o seguinte exemplo:

01 representa o nome da espécie X,

02 representa o nome da espécie Y, etc.

b. *Escala Ordinal*

Serve para designar números em termos de graus. Baseia-se em considerações subjetivas. Os intervalos não são necessariamente iguais. Por exemplo, para identificar que uma madeira para determinado fim é excelente, muito boa, boa, regular ou ruim, pode-se empregar números de 1 a 5, respectivamente, e classificar esses objetos em ordem de qualidade.

Também pode-se aplicar este método de ordenação quando se está classificando a madeira serrada, ou as toras destinadas a diferentes tipos de uso, ou segundo os defeitos que poderiam apresentar. O estado fitossanitário de uma espécie ou floresta estará identificado por este tipo de escala.

Exemplo de escalas nominais

Formulário de Codificação Inventário Florestal Contínuo dos Reflorestamentos																																
Comando de Codificação																																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
Estado		Distrito Florestal			Projeto, Cadastro do IBAMA				Fazenda		Estrato		Espécie		Número da Parcela		Medição		Estado do solo		Estado fitossanitário		Característica ambiental		Número da árvore		Característica da árvore		CAP		Altura	

c. Escala de Intervalos

Esta escala refere-se a intervalos uniformes, porém precisa-se de um ponto de partida, que corresponde ao ponto de referência absoluto ou origem verdadeira. Pode-se escolher esse ponto arbitrariamente, por exemplo, os dias transcorridos, meses, anos.

d. Escala de Relação

Esta escala, semelhante à anterior, mantém intervalos uniformes. A diferença está em se ter um zero absoluto. Este tipo de escala divide-se em escala de relação fundamental e em escala de relação derivada.

A escala de relação fundamental refere-se a valores absolutos de uma variável como o comprimento, peso e tempo. Assim, temos, por exemplo: a altura de uma árvore, o peso de uma tora de madeira, o tempo transcorrido de uma atividade de exploração florestal etc.

A escala de relação derivada, como a própria palavra indica, refere-se à combinação de medidas. Como exemplo, tem-se a velocidade de um trator, obtendo-se o resultado correspondente em função da distância, do tempo, do volume de madeira; da densidade do povoamento etc.

1.3 Variáveis e Erros

A dendrometria se vincula à estatística por meio dos métodos científicos da tomada de dados, sua organização, recompilação, apresentação e análise, respectivamente.

Uma variável é um símbolo, assim X, Y, H podem tomar um valor qualquer num conjunto determinado deles, chamado domínio da variável.

Se a variável assume apenas um único valor, chamar-se-á constante. A constante mais utilizada na dendrometria é $(\pi) = 3,1416$.

Uma variável que teoricamente pode tomar qualquer valor entre dois valores determinados chamar-se-á variável contínua, e se não for assim, tem-se uma variável discreta.

Exemplo: num povoamento de *Eucalyptus*, o número de árvores N poderá ser qualquer valor inteiro, 20, 36, 1847 etc. Porém não poderá ser 20,6 ou 36,3. Então, N será uma *variável discreta*. A altura de uma árvore (H) poderá ter a seguinte medida: 15m, 15,20m ou 15,274m, dependendo da exatidão da medida. Então, H será uma *variável contínua*.

Ao relacionar duas variáveis, a variável X denominar-se-á independente e Y variável dependente.

Se a cada valor de X corresponde um só valor de Y, dizemos que Y é função simples de X. Se corresponde mais de um valor chamar-se-á função múltipla de X.

Exemplo: o número de árvores de um povoamento é função de sua densidade

$$[N = f(\text{densidade})]$$

o volume de madeira de uma tora poderá ser função do seu diâmetro

$$[\text{Vol} = f(\text{diâmetro})].$$

As medidas têm pouco valor se não é conhecido seu grau de aproximação ao valor real ou verdadeiro. Os erros poderão ser cometidos por fatores humanos, métodos de trabalho, instrumentos utilizados etc. Assim os erros mais comuns são os seguintes:

a. **Erros de metodologia**

São os que se cometem por procedimentos que se adotam para tomar as medidas. Assim, por exemplo, na determinação da distância no campo, será mais eficiente o emprego de uma fita métrica de 50m, que uma simples avaliação pelo comprimento do número de passos.

b. **Erros pessoais**

São aqueles que se cometem devido ao manuseio deficiente do instrumento que está sendo utilizado, ou pela negligência nas observações, leituras imprecisas das frações, paralaxe ótico, desconhecimento da metodologia etc.

c. **Erros instrumentais**

São os que se produzem por desajuste ou defeito de construção dos aparelhos.

d. **Erros devido ao meio**

Esses erros são difíceis de controlar, porque se devem a fatores que escapam da possibilidade de manuseio por parte do observador, como a umidade do ar, temperatura, vibração, magnetismo etc.

Em termos dendrométricos, os erros podem ser classificados em: a) **erros compensatórios ou acidentais**, que independem do instrumento e/ou do operador; b) **erros de estimação**, provenientes do cálculo de amostragem; e c) **erros sistemáticos**, que ocorrem pelo defeito no aparelho, inabilidade do operador etc. (Silva e Paula Neto, 1979). Os erros compensatórios são produzidos normalmente ao arredondar cifras ou ao aproximar valores. Erros de estimação apresentam-se onde existem variações do valor da variável e é a base do cálculo estatístico. Erros sistemáticos se repetem, com certa frequência, sempre no mesmo sentido e são acumulativos.

Os erros influem diretamente na precisão ou exatidão da variável medida. Assim, a **precisão** refere-se ao padrão de estimação, é relativa e depende do que se está medindo. A **exatidão** refere-se à maior aproximação das medidas da variável ao valor verdadeiro. A precisão, portanto, é relativa e depende do que se está medindo. Exemplo: ao pesar quatro toneladas de madeira se comete um erro de 40 quilos, que representa 1%. Este erro será menor, comparado com o peso de uma proveta de madeira de 10 gramas, tendo como erro de apenas uma grama de diferença. Finalmente pode-se considerar um valor real e um valor estimado ou medido. Nesse sentido, matematicamente será expresso por:

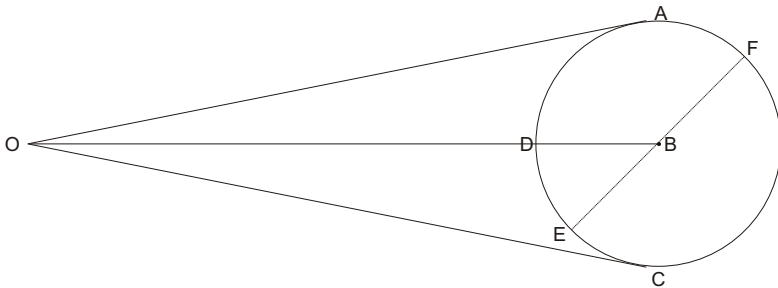
$$[V_r - V_m = \pm \text{Erro}]$$

1.4 **Conceito de Distâncias**

Como magnitudes fundamentais da dendrometria estão as longitudes ou distâncias retilíneas. As distâncias são medidas lineares

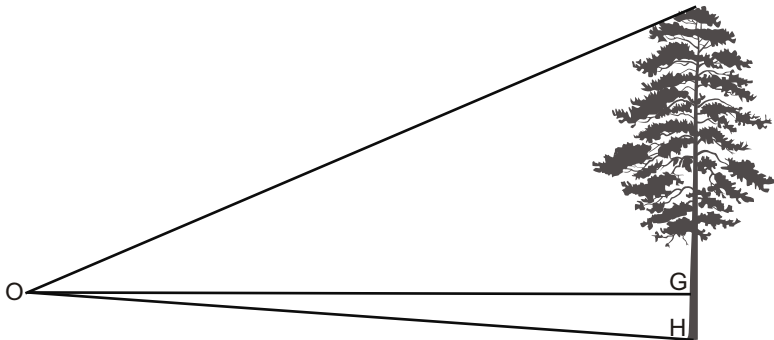
necessárias nas práticas da mensuração florestal que ajudam a determinar variáveis dendrométricas. O termo distância indica o número de unidades lineares que existem entre dois pontos determinados, que por sua vez serve para determinar ou proporcionar um valor numérico às variáveis dendrométricas (diâmetros, alturas, áreas etc.).

Algumas distâncias não proporcionam dificuldades na sua medição e é com ajuda de algum instrumento que se define a sua magnitude. Porém, freqüentemente muitas distâncias devem ser determinadas com ajuda de fórmulas geométricas ou trigonométricas. As principais distâncias com respeito à árvore, em seu nível horizontal e vertical mostram-se nas Figuras 1 e 2.



- O D Distância do observador à árvore
- O A Distância do observador ao ponto de tangência
- O C Distância do observador ao ponto de tangência
- O B Distância do observador ao centro da árvore
- E F Distância diametral da árvore

Figura 1. Distâncias auxiliares horizontais



O H Distância inclinada do observador à base da árvore

O G Distância horizontal do observador à árvore

O L Distância inclinada do observador à parte superior da árvore

H L Distância vertical da árvore

Figura 2. Distâncias auxiliares verticais

Os pontos G e H, da distância vertical, podem estar nos pontos de tangência ou no centro da árvore, em cujos casos precisa-se identificar o ponto de medida para sua correspondente medição de distância. Através da relação dos senos e cossenos de um triângulo

retângulo, as distâncias OH e OG podem ser determinadas sem nenhuma dificuldade, sobre tudo quando o terreno é plano.

A distância OL pode ser determinada com base na distância horizontal OG e o ângulo α (alfa), sendo assim:

$$OL = \frac{OG}{\cos \alpha}$$

OL também pode-se determinar pela hipotenusa do triângulo OLG:

$$OL = \sqrt{(OG)^2 + (GL)^2}$$

e a distância GL pode ser calculada por meio do ângulo α :

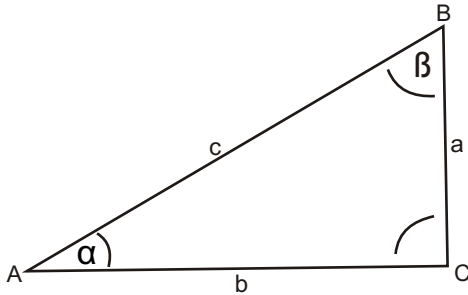
$$GL = (OG) \tan \alpha$$

Ou pela fórmula:

$$GH = \sqrt{(OL)^2 - (OG)^2}$$

A definição de distâncias horizontais é relativamente simples. Porém, quando o terreno é inclinado, deve-se tomar em conta necessariamente a distância horizontal, que permitirá estabelecer certas relações trigonométricas e geométricas.

Nesse sentido, a determinação e medição de algumas variáveis dendrométricas fará uso das relações geométricas e trigonométricas de triângulos retos e obtusângulos (Figuras 3 e 4). Assim as relações dos senos e co-senos proporcionarão conceitos fundamentais na construção de instrumentos de medição e na determinação das variáveis dendrométricas diâmetro e altura.

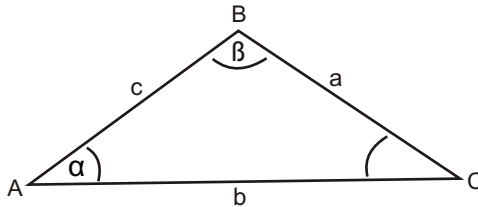


$$a = c \cdot \text{sen } \alpha = b \cdot \text{tag } \alpha = c \cdot \text{cos } \beta = b \cdot \text{cot } \beta$$

$$b = c \cdot \text{cos } \alpha = a \cdot \text{cot } \alpha = c \cdot \text{sen } \beta = a \cdot \text{tag } \beta$$

$$c = \frac{a}{\text{cos } \beta} = \frac{b}{\text{sen } \beta} = \frac{a}{\text{sen } \alpha} = \frac{b}{\text{cos } \alpha}$$

Figura 3. Relações trigonométricas num triângulo retângulo



Relação dos Senos:

$$a = \frac{b \cdot \text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{c \cdot \text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta}$$

$$c = \frac{a \cdot \text{sen } (\alpha + \beta)}{\text{sen } \alpha} = \frac{a \cdot \text{sen } \beta}{\text{sen } \alpha}$$

$$b = \frac{a \cdot \text{sen } \beta}{\text{sen } \alpha} = \frac{c \cdot \text{sen } \beta}{\text{sen } \alpha}$$

Relação do cosenos:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \text{cos } \alpha$$

Figura 4. Relações trigonométricas num triângulo obtusângulo

1.5 Métodos para Medir Distâncias

Os métodos para medir distâncias podem ser classificados em diretos e indiretos.

1.5.1 Métodos Diretos

Na medição direta, o processo consiste em aproximar ou determinar a unidade de medida à magnitude real que se pretende medir. O resultado obtido permite a comparação de séries de valores de uma mesma magnitude por intermédio do cálculo da média aritmética. Medidas diretas correspondem à determinação real da variável.

a. Método dos Passos

Conhecendo o comprimento do passo pode-se medir certas distâncias com certo grau de aproximação. Para determinar o comprimento médio do passo, caminha-se normalmente entre dois pontos, cuja distância é conhecida, e desta forma define-se o número de passos correspondente a essa distância. Dividindo-se este número de passos pela distância, obtêm-se seu valor médio. Aconselha-se obter vários valores médios e adotar uma média mais precisa.

b. Instrumentos

Fitas métricas

Existem no mercado fitas métricas de 5 até 200 metros de comprimento, construídas geralmente em fibra de vidro ou material plástico resistente. Nas práticas dendrométricas as mais usuais são de 15 a 50 m. As fitas métricas são normalmente empregadas para medir ou determinar distâncias horizontais (Figura 5)

Rodas métricas

São instrumentos que medem a distância percorrida, através do número de vezes que gira a roda correspondente. São muito úteis quando é preciso medir distâncias superiores a 100 metros (Figura 5). A leitura é direta, numa janela digital, acoplada à roda.



Figura 5. Réguas, fitas, trenas e roda métrica

Decâmetros

São instrumentos que permitem medir distâncias horizontais em unidades equivalentes de dez metros.

Telêmetros

São instrumentos óticos que servem para medir a distância entre o observador e um ponto normalmente inacessível. Também são conhecidos como distanciômetros. A leitura da distância é direta, normalmente aparece numa escala no próprio instrumento. Os telêmetros são construídos com dois prismas colocados transversalmente ao objeto de observação. Em muitas máquinas fotográficas estes telêmetros funcionam para aclarar a imagem do objeto a ser fotografado. Os telêmetros foram construídos para medir distâncias de 35 a 500 metros (Figura 6). Em telêmetros de precisão o erro de medição em 50 m corresponde aproximadamente a ± 1 m, em 150 m deve-se aceitar até ± 6 m, e em 300 m ± 24 m.

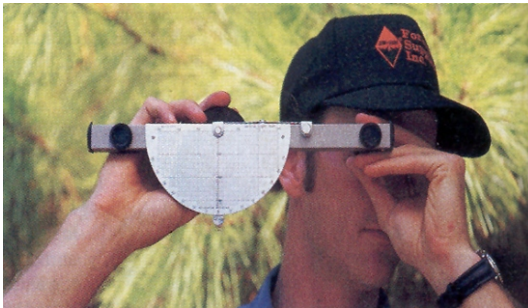


Figura 6. Telêmetros.

Para medições superiores aos 300 m, existem no mercado telômetros mais complexos que além de determinar com precisão a distância de até 500 m, permitem medir diversos ângulos (Figura 7)



Figura 7. Telômetro Wild modelo TM

O telômetro Wild modelo TM, conhecido também como telômetro de coincidência, oferece medidas de distância e ângulos com altíssima precisão até 500 metros de distância. Numa janela será observada a imagem invertida, o que facilita proceder com a

coincidência dessa imagem. A vantagem deste procedimento reside na possibilidade de se observar o terreno durante o processo de mensuração, em contraposição aos aparelhos construídos com sistemas de semi-imagens ou imagens superpostas.

Telêmetro nos hipsômetros de Haga e Blume Leiss

Hipsômetros são instrumentos que medem a variável altura. Nos hipsômetros Haga e Blume Leiss, instrumentos bastante empregados na prática dendrométrica, estão embutidos em alguns deles telômetros para identificar distâncias fixas pré-estabelecidas de 15, 20, 25 e 30 metros. No telêmetro do Haga, a banda que será fixada na árvore fornecerá no visor uma figura superposta (Figura 8), identificando assim a distância procurada. No telêmetro do Blume Leiss forma-se uma figura oposta, das duas plaquetas deve-se encontrar uma terceira.

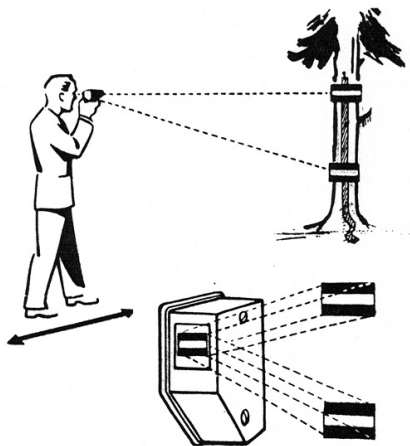


Figura 8. Telêmetro do hipsômetro Haga

Medidor de distância Ultra-som

É um instrumento de última geração que funciona em base de ondas ou frequências de som, com uma capacidade de medir distâncias desde 46 cm até 22 m. Consta de dois módulos, do próprio medidor e de um receptor de sinais de ondas (Figura 9). Trabalhando somente com o medidor, pode-se obter medições de distâncias de até 18 m, desde que a área de visão ou de percurso da onda não encontre

obstáculos de superfícies duras, uma vez que essas superfícies devolverão a onda ao medidor. As leituras produzidas com absoluta exatidão aparecem na janela do medidor em forma digital. Utilizando os dois módulos, as ondas ultrapassam os obstáculos que encontrarem na sua frente até atingir o receptor de ondas para serem por este devolvida ao medidor. Na Europa e nos Estados Unidos, este instrumento está sendo atualmente utilizado em trabalhos de inventários florestais permanentes.



Figura 9. Medidor de distância Ultra-Som

1.5.2 Métodos Indiretos

Medidas indiretas implicam em estimações da variável.

a. Relações Geométricas

A base das relações geométricas é o Teorema de Pitágoras
Hipotenusa = $\sqrt{\text{(raiz da) Soma dos quadrados dos catetos}}$

b. Relações Trigonométricas

No emprego das relações trigonométricas, a lei dos senos e co-senos forma o alicerce dos cálculos correspondentes. Quando se trata de triângulos retângulos, precisa-se conhecer um lado e um ângulo do triângulo. No caso de triângulo obtusângulo, a procura de um lado desconhecido requer conhecer dois lados e um ângulo, ou dois ângulos e um lado. As fórmulas das Figuras 3 e 4 servirão para lembrar as principais relações trigonométricas.

A partir destes princípios, pode-se utilizar os conhecimentos mencionados na realização de vários trabalhos, como serviços de topografia, planejamento da implantação de talhões de povoamentos florestais, construção de estradas florestais e outros. Nesse sentido, o técnico florestal deverá possuir habilidade no uso do clinômetro de Abney e pentaprismas.

Clinômetro de Abney

É um instrumento que serve para medir com alta precisão ângulos e inclinações em valores de graus e percentuais. O instrumento é basicamente empregado em trabalhos de topografia, especificamente na determinação da declividade. Destina-se, portanto, a medir ângulos verticais de elevações ou de profundidades. Os clinômetros, também chamados de níveis de Abney, trazem dois semi-círculos graduados: um em ângulos de 90 graus com a vertical e um outro em percentagem.

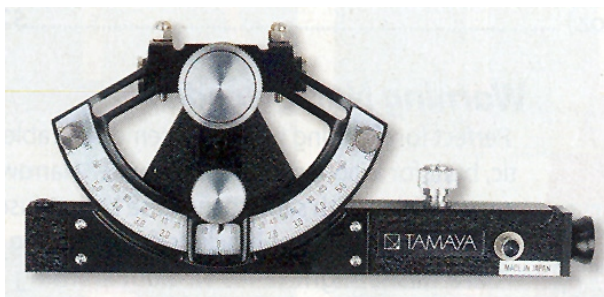


Figura 10. Clinômetro de Abney

Medição da declividade

O declive é o pendor ou inclinação do terreno, este considerado geralmente de cima para baixo. A declividade pode ser expressa em graus ou em valor percentual do ângulo reto. A reta de declive (Figura 11, pontos A e C) é a que corta em ângulo reto as curvas de nível da superfície, e a reta de máximo declive será aquela que, de todas as retas do plano, executa o maior ângulo com o plano horizontal.

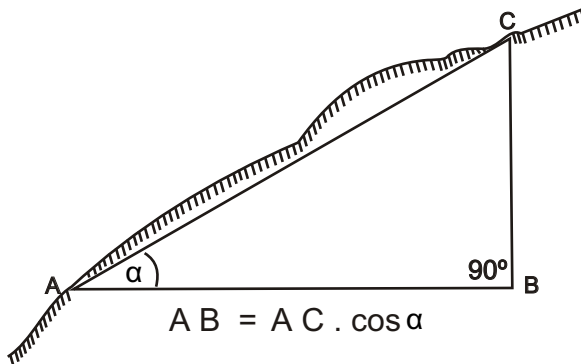


Figura 11. Medição da declividade

Neste princípio as seguintes fórmulas poderão ser utilizadas, para medir

a) distância horizontal (*DZ*):

$$DZ = (\text{distância da pendente}) \times (\text{coseno do ângulo da pendente})$$

$$DZ = (\text{distância vertical}) \times (100) / (\text{porcento da pendente})$$

$$DZ = (\text{distância vertical}) / (\text{tangente do ângulo da pendente})$$

b) distância da pendente (*DP*)

$$DP = (\text{distância vertical}) / (\text{seno do ângulo da pendente})$$

$$DP = (\text{distância horizontal}) / (\text{co-seno do ângulo da pendente})$$

c) distância vertical ou diferença em elevação (*DE*)

$$DE = (\text{distância da pendente}) \times (\text{seno do ângulo da pendente})$$

$$DE = (\text{distância horizontal}) \times (\text{tangente do ângulo da pendente})$$

$$DE = (\text{percentual da pendente}) \times (\text{distância horizontal}) / (100)$$

d) percentagem da pendente (*%P*)

$$\%P = (\text{diferença em elevação}) \times (100) / (\text{distância horizontal})$$

$$\%P = (100) \times (\text{tangente do ângulo da pendente})$$

Pentaprisma

Destes instrumentos o mais utilizado na mensuração florestal é o pentaprisma duplo, que é um instrumento pequeno e prático, e fácil no seu manuseio. Recomenda-se o uso deste instrumento em levantamentos topográficos ortogonais, alinhamento de pontos e controle de ângulos retos e estacamento de curvas circulares. Os elementos constitutivos do pentaprisma duplo são dois prismas

pentagonais de 90, superpostos de tal forma que um dos raios de pontaria fica desviado retangularmente à esquerda e o outro do mesmo modo à direita (Figura 12). O instrumento permite a observação livre e direta por cima ou por debaixo do prisma. Para maior precisão, recomenda-se que o instrumento esteja sendo utilizado com um prumo.

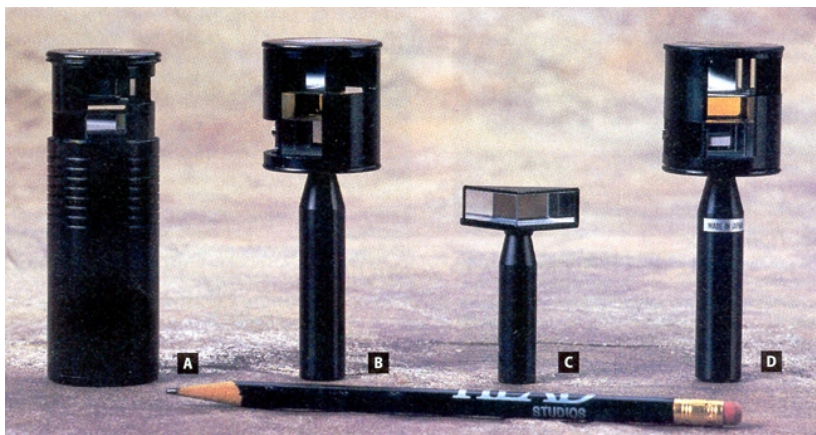


Figura 12. Pentaprisma duplo

1.6 Pontos Cardeais

Correspondem à designação das direções da rosa-dos-ventos, e em consequência à localização geográfica de um ponto específico determinado pelas suas coordenadas.

1.6.1 Bússola Geodésica

As bússolas geodésicas (Figura 13) são construídas normalmente em formato de relógio, feitas de material não magnético, compostas de um mostrador com a rosa-dos-ventos (Figura 14). As unidades de medida podem estar divididas em 360 graus ou em 400 gons. As unidades de medida ainda estão subdivididas em médios graus e médios gons. Uma agulha imantada, geralmente pintada, aponta sempre o norte magnético, diferente do norte geográfico.

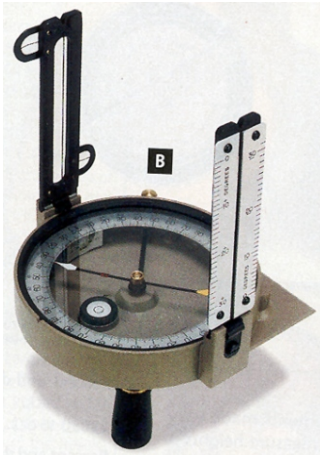


Figura 13. Bússola geodésica

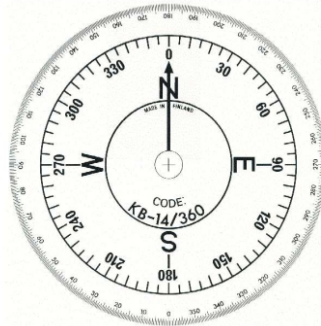


Figura 14. Rosa dos ventos

As bússolas na prática dasométrica, são utilizadas para determinar os azimutes e manter os rumos. Azimute é a medida do ângulo de 0 a 360 graus. Os azimutes podem facilmente ser convertidos em rumos. Rumos do Nordeste correspondem aos azimutes de 0° a 90°, rumos do Sudeste serão conseqüentemente de 91° a 180° e assim sucessivamente. Neste sentido a rosa-dos-ventos ou rosa-dos-rumos identifica os quatro quadrantes: Nordeste, Sudeste, Sudoeste e Noroeste.

1.6.2 Bússola Suunto

A bússola Suunto é um instrumento pequeno, plano e simples de manuseio, permitindo obter precisão de leitura de até 10 minutos de grau (= 1/6 grau). A rosa-dos-ventos fica praticamente flutuante dentro

do instrumento, de tal forma que a leitura correspondente deve ser feita quando o instrumento está 100% na posição horizontal. No visor aparecem, no fio de pontaria, duas escalas correspondentes entre si. Em números maiores é indicado o verdadeiro azimute e em números menores os graus da direção contrária equivalente (Figura 15). A leitura deve ser feita com os dois olhos abertos, o que permite visualizar com clareza o fio de leitura aparentemente fora do instrumento.

As dimensões da bússola Suunto são de 75 x 52 x 15 mm e o peso de apenas 115 gramas. Existem no mercado bússolas com graduação de 360 graus que acompanham graduação ótica em quadrantes de 90, ou graduação inversa suplementar marcadas em vermelho com possibilidade de possuir iluminação interna de luz beta. Para usos específicos, pode-se obter bússolas Suunto com graduação de 400 gons, bastante utilizadas nos países escandinavos, e bússolas com graduação de 6000 ou 6400 pontos com intervalos de 10. °, destinadas para uso militar.

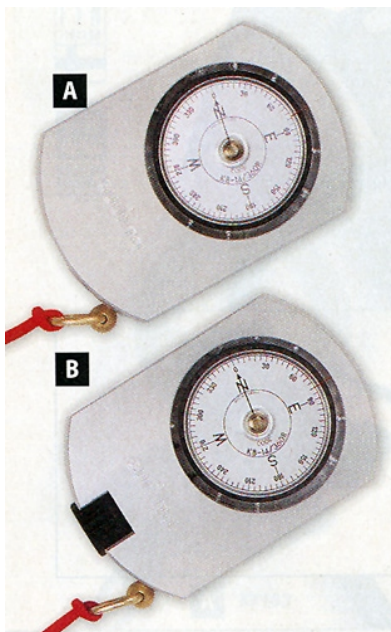


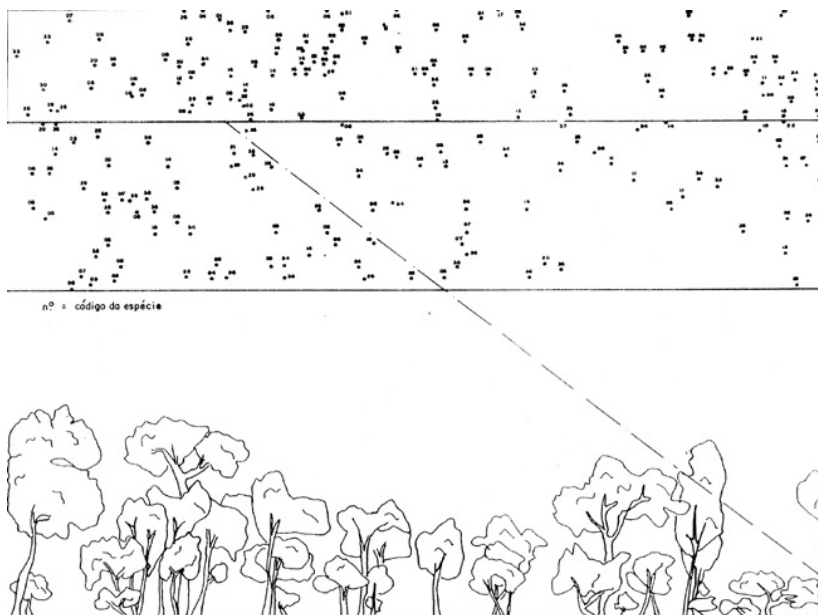
Figura 15. Bússola Suunto com 360°

1.7 Distribuição Espacial

Em diversos trabalhos dasométricos será necessário reproduzir a estrutura vertical e horizontal da vegetação, esta última conhecida também como distribuição espacial. Para essa finalidade, a posição de cada árvore deverá estar identificada por um sistema de coordenadas para posteriormente ter a possibilidade de efetuar cálculos e situações de simulação.

As coordenadas de cada árvore estarão dispostas em função de uma informação central fixa (pontos de referências), que poderá ser como no exemplo a seguir, uma picada num determinado azimuth. Cada indivíduo neste caso está identificado por um número que corresponde às coordenadas geográficas pertinentes.

Exemplo de uma distribuição espacial



2. A ÁRVORE DENDROMÉTRICA

À fim de aplicar os conceitos das medições dendrométricas, se entenderá como árvore ao indivíduo vegetal com DAP maior a 5 cm, de fuste elevado, normalmente maior a 3 metros de altura formando em sua parte superior extensa ramificação.

Em termos gerais, a silvicultura classifica as árvores em função da altura, em três categorias: árvores de grande porte, com alturas superiores a 30 m; árvores de médio porte, com alturas entre 15 e 30 m, e árvores de pequeno porte, com alturas inferiores a 15m. Outra classificação das árvores é dada em função da formação de madeira no fuste principal, que identifica como *brinzal* o indivíduo que ainda não apresenta o diâmetro mínimo exigido, *latizal* o indivíduo que pertence às primeiras classes diamétricas, e *fustal* a árvore com fuste comercial.

No conceito silvicultural, as florestas podem ser classificadas em matas nativas e reflorestamentos. Fala-se também em formações naturais e maciços artificiais. O tratamento silvicultural, manejo e a ordenação dessas formações vegetais é naturalmente diferente e peculiar para cada tipo de floresta, porém a forma de obter dados dendrométricos é igual em qualquer tipo de formação arbórea.

O crescimento das árvores e sua fisionomia, estão em função das exigências do meio ambiente, o que origina certa plasticidade na acomodação da espécie. Uma mesma espécie plantada em condições totalmente diferentes (a céu aberto e isolada como a céu fechado dentro de uma mata já formada) produzirá diversas formas de crescimento (aparências).

A árvore apresenta normalmente dois tipos de ramificações: o *simpodial*, quando por qualquer motivo deixa de existir a predominância da gema apical, entrando em atividade as gemas subjacentes, quando então o tronco perde sua forma peculiar, dando origem a dois, três ou mais galhos principais; e o *monopodial* quando o eixo caulinar se prolonga através da atividade contínua da gema apical, englobando a copa e diferenciando-se dos ramos que o rodeiam pelo seu maior diâmetro.



Figura 16. Formas florestal e natural da árvore

Nesse sentido, Mackay (1964) define,

a) a **forma natural** ou espontânea da árvore, quando seu corpo axial, assim como suas ramificações, conseguem crescer livres de obstáculos, caso da árvore isolada (Figura 16); e

b) a **forma florestal**, resultante do desenvolvimento da árvore num povoamento. O crescimento dos ramos é prejudicado pela presença de um outro indivíduo que tem o mesmo ímpeto de crescimento. Intervenções silviculturais como a poda, desrama, desbaste etc., permitirão ao silvicultor orientar a forma de crescimento das árvores.

Para fins dendrométricos, as árvores podem ser classificadas em coníferas, latifoliadas e palmeiras (Figura 17).



Figura 17. Tipos de árvores

Em nosso meio, as árvores latifoliadas predominam na estrutura de todos os tipos de formações vegetais. Nesse sentido se dará maior atenção neste tipo de árvores. Algumas formas naturais das latifoliadas estão desenhadas na Figura 18.

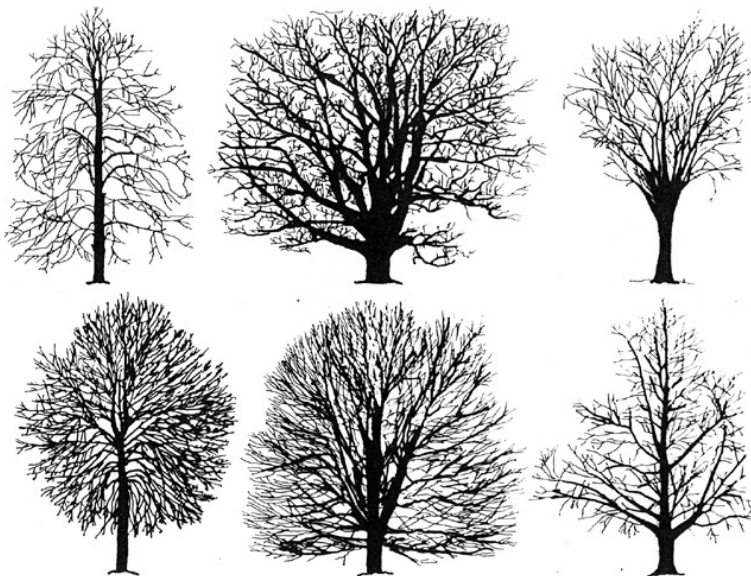


Figura 18. Aparência de algumas árvores latifoliadas

2.1 Componentes da árvore

Prodan (1965), de acordo com a utilização da árvore como fornecedores de matéria prima para a industria madeireira, divide a árvore em quatro componentes: (1) fuste principal; (2) ramos primários; (3) ápice e (4) ramos secundários (Figura 19). Nesta classificação a cepa ou toça e as raízes não estão incluídas.

Além dos componentes citados por Prodan, Young (1978) considera na classificação a cepa, as raízes primárias, secundárias e terciárias (Figura 19), e as classifica de acordo com as seguintes dimensões: (1) raiz com menos de uma polegada de diâmetro; (2) raiz de 1 a 4 polegadas de diâmetro; (3) raiz com mais de 4 polegadas de diâmetro; (4) cepa; (5) fuste comercial com mais de 4 polegadas de DAP; (6) ramos com mais de 1 polegada de diâmetro; (7) ramos com menos de 1 polegada de diâmetro; (8) ápice. Esta classificação tornou-se muito importante para as análises e estudos da biomassa.

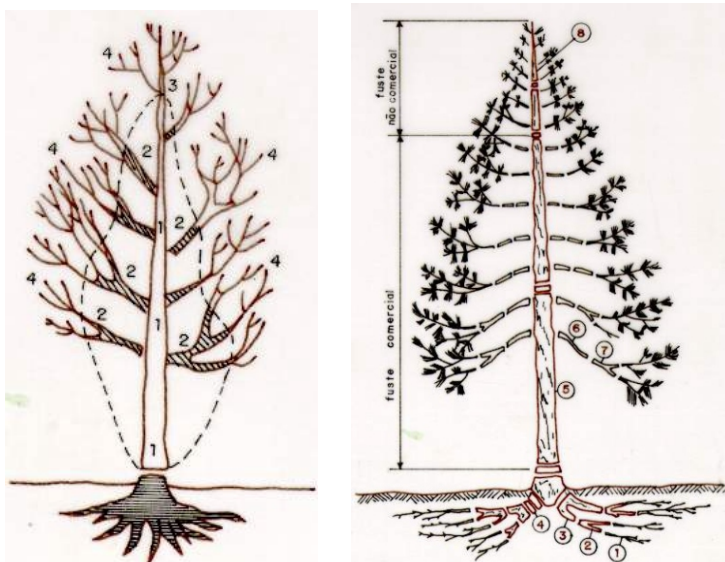


Figura 19. Componentes da árvore segundo Prodan e Young

Para os povoamentos sob regimes de manejo, Prodan (1965) estabeleceu em função da Figura 19 a seguinte relação de utilização integral:

(1) Fuste com mais de 7 cm de Dc/c	+	(2) Ramos com mais de 7 cm Dc/c	=	MADEIRA (A) GROSSA
+		+		+
(3) Ápice com menos de 7 cm de Dc/c	+	(4) Ramos com menos de 7 cm de Dc/c	=	RAMAÇÃO (B)
=		=		=
MADEIRA DA TORA (C)	+	MADEIRA DOS RAMOS (D)	=	MADEIRA (E) DA ÁRVORE
Volume total = A + B + C + D				

A utilização integral da árvore dependerá *a priori* da intensidade do manejo florestal. Para o futuro, pretende-se que estes conceitos tenham total validade, especialmente nos países em desenvolvimento, porque se considera que em algumas regiões tropicais só são procuradas as espécies mais valiosas economicamente e especialmente aquelas que tenham toras com diâmetros apropriados para a indústria de serraria e laminados, uma vez que esses produtos são bastante cotizados no mercado internacional e facilmente comercializados.

O conceito de beneficiamento da árvore em regiões tropicais está relacionado ao grau de utilização da madeira, dependendo naturalmente do nível do desenvolvimento da indústria florestal e da região como um todo. Neste sentido os componentes da árvore nas florestas tropicais, estão muitas vezes restritos ao fuste principal. Pelas características da industrialização madeireira no Peru, por exemplo, Malleux (1971) propõe a seguinte classificação de uso (Figura 20), em função da matéria prima que é solicitada: (1) madeira para serraria, correspondendo ao fuste comercial; (2) madeira para sustentação em minas, localizada normalmente na parte superior do fuste; (3) madeira para produção da pasta de celulose, correspondendo aos ramos da copa.

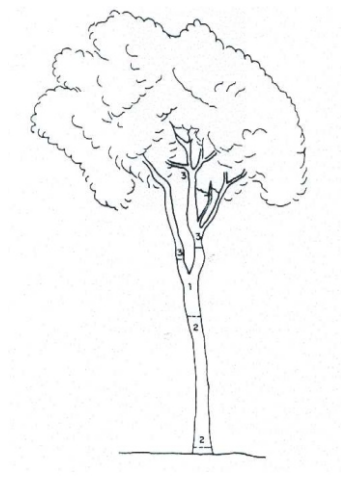


Figura 20. Classificação da árvore segundo Malleux

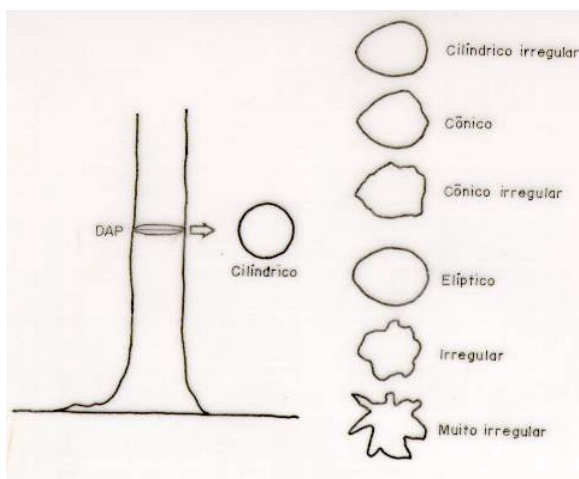
3. DIÂMETROS E CIRCUNFERÊNCIAS

Os diâmetros e circunferências são medidas fundamentais na dendrometria. Servem de base para medições e estimações da área basal, volume, crescimento, classificação de sítio, comparação de variáveis, etc. (Bruce e Schumacher, 1950; Gomes, 1957).

O valor da variável diâmetro ou circunferência, assim como de todas as variáveis dendrométricas, poderá ser determinado como: a) *medida direta*, feita diretamente na variável; b) *medida indireta*, efetuada com ajuda de instrumentos óticos, c) *medida estimada*, baseada em métodos estatísticos.

Vários diâmetros poderão estar acessíveis à medidas diretas, e outros diâmetros só poderão ser medidos por meio de instrumentos específicos.

Numa visão horizontal, observando-se os diâmetros, estes aparentemente poderão representar círculos quase perfeitos, porém na prática, é possível encontrar diâmetros cilíndricos, cilíndricos irregulares, elípticos, cônicos, cônico irregulares e de formas completamente irregulares, como pode-se apreciar na Figura 21.



3.1 DAP, CAP

A medida mais típica do diâmetro de uma árvore é o diâmetro à altura do peito, que se representa abreviando com as letras DAP ou dap. O DAP deve ser rigorosamente medido a 1,30m de altura do chão, ponto de medida que foi internacionalmente estabelecido. Conseqüentemente, o DAP, por convenção internacional proporciona o diâmetro do fuste na altura de 1.30 metros sobre o nível do solo. Em inglês, o DAP corresponde à abreviação dbh, e no alemão BHD. Nas medidas inglesas dbh corresponde a uma altura de medição de 4,5 pés (1,37cm).

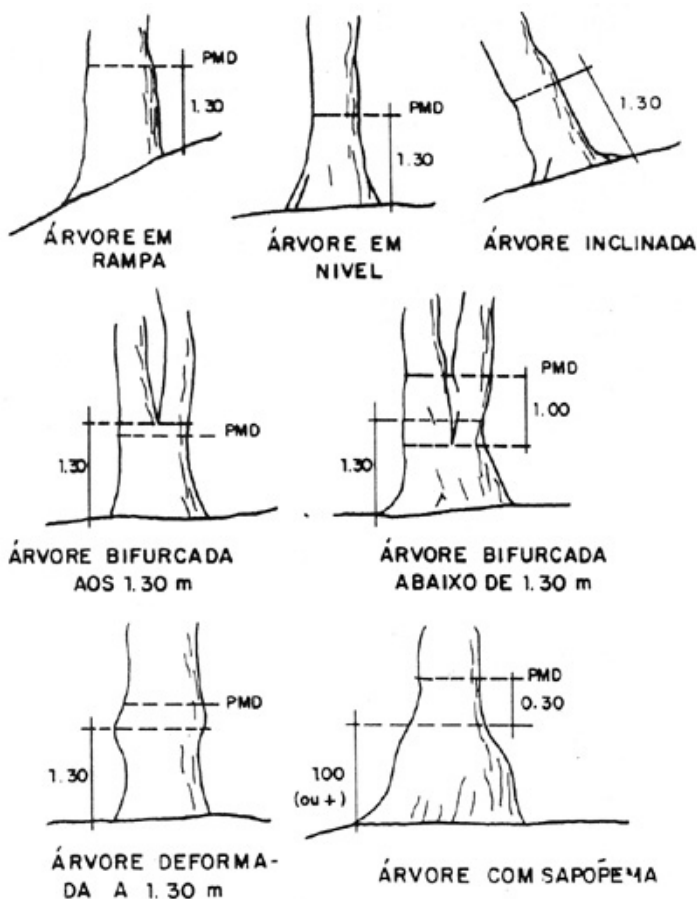
Quando por conveniência é medida a circunferência na altura do peito, sua representação se faz por CAP ou cap, em inglês por gbh.

Para efeitos práticos, em medições que não requerem de extrema precisão, pode-se considerar o DAP equivalente ao CAP. Os valores correspondentes podem ser transformados por meio da seguinte fórmula:

$$DAP = CAP /$$

$$CAP = DAP \cdot$$

Quando o fuste na altura do DAP não é circular tomam-se normalmente duas medidas perpendiculares do diâmetro na mesma altura, considerando a parte mais ampla ou larga e a mais estreita ou perpendicular à primeira medição, a fim de obter uma média que estime melhor o valor do DAP. Na prática dasométrica, quando é necessário medir muitos DAP's, a medida se faz considerando o mesmo azimute, o que vale dizer que todas as árvores serão medidas na mesma direção. Em casos especiais, quando a árvore apresenta características específicas de crescimento, como é mostrado na Figura 22 (Muller, 1972), o ponto de medida do DAP deve ser alterado.



PMD = PONTO DE MEDIÇÃO DO DIÂMETRO.

Figura 22. Alteração do ponto de medida do DAP

Na execução de inventários florestais em áreas montanhosas ou em locais de declividade acentuada, o DAP sempre será medido pelo lado superior da árvore, como é mostrado na Figura 21. Imaña (1992) demonstrou a ocorrência de erros de medição de até 6% no

valor do DAP, em árvores que crescem em terrenos inclinados, como se pode apreciar na Figura 23.

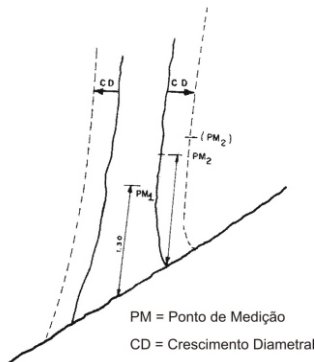
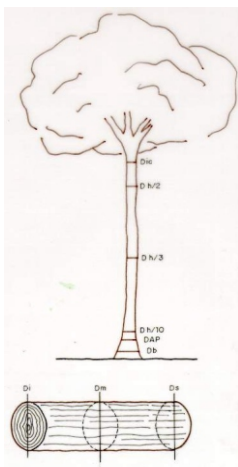


Figura 23. DAP em terrenos inclinados

Nem sempre apenas o DAP deve ser medido, sendo muitas vezes necessário medir diâmetros a diferentes alturas, quer seja em árvores em pé ou abatidas (Figura 24).



- D_{1c} = Diâmetro início da copa
- $D_{n/2}$ = Diâmetro a altura média
- $D_{n/3}$ = Diâmetro a um terço da altura
- $D_{n/10}$ = Diâmetro a um décimo da altura
- DAP = Diâmetro a altura do peito
- D_b = Diâmetro da base
- D_1 = Diâmetro inicial da tora
- D_m = Diâmetro médio da tora
- D_s = Diâmetro superior da tora

Figura 24. Diâmetros convencionais

Os diâmetros à altura média ($D_{h/2}$), a 1/3 da altura ($D_{h/3}$) e a 1/10 da altura ($D_{h/10}$) são respectivamente importantes nas fórmulas de Pressler, Hosfeld e Hohenadl, na determinação do volume de madeira (Prodan, 1965). A literatura também registra com frequência medidas de diâmetro a alturas fixas, como D_{7m} e D_{9m} .

Pode-se considerar ou eliminar a casca do valor da medição do diâmetro. No caso do DAP, será indicado por DAPs/c (sem casca). Existem ocasiões em que é necessário medir o DAP sem casca, medindo-se a espessura desta.

$$\text{DAPs/c} = \text{DAPc/c} - 2 \text{ EC}$$

onde EC é a espessura da casca.

3.1.1 Medidores de Casca

Os instrumentos empregados para medir a espessura da casca são o martelo medidor de casca (Figura 25, D e E) que precisam adicionalmente de uma régua graduada em milímetros e o medidor de casca (Figura 25, A, B e C), que já vem com uma graduação em milímetros.



Figura 25. Medidores de casca

3.2 Instrumentos para medir diâmetros

Existem vários instrumentos para medir direta ou indiretamente o diâmetro do fuste das árvores. A seguir são apresentados os mais conhecidos e utilizados.

3.2.1 Fita métrica

Pode-se utilizar qualquer fita ou trena graduada. Recomenda-se o emprego de unidades métricas (divididas em unidades de centímetros). Além destas unidades, existem outras, como as unidades inglesas (polegadas, pés), que precisarão ser transformadas em unidades métricas. Existe no mercado a fita métrica de costura, instrumento barato e de fácil manuseio. Essas fitas são normalmente de material plástico e têm um comprimento de 150 cm, conseqüentemente o diâmetro máximo a ser medido com essas fitas é de 47 cm. Além dessas fitas é possível encontrar fitas de 2, 5, 10, 15 até 50 metros de comprimento.

3.2.2 Fita diamétrica

É um instrumento próprio para medir diâmetros de grandes dimensões, construída de tecido reforçado, graduada em intervalos de (3,1416), geralmente de comprimentos de 5m ou 10m. A unidade de medida proporciona diretamente os valores do diâmetro. Para a transformação da circunferência em diâmetro é utilizada a expressão:

$$\begin{array}{l} \text{diâmetro (D) = circunferência (C) /} \\ \text{pois } C = 2 R \quad \text{e } 2R = D \\ \text{assim } C = D \quad \text{ou } D = C/ \end{array}$$

A fita diamétrica leva numa cara a escala normal (métrica) que permite a leitura do perímetro e na outra cara a graduação correspondente à leitura direta do diâmetro, obedecendo a formulação acima indicada. Numa extremidade inicial da fita existe um mecanismo, tipo garfo, que permite fixar a fita na árvore. A medição é feita colocando-se a fita ao redor do fuste, perpendicular ao eixo longitudinal da árvore, na altura do DAP. A principal vantagem dessas fitas reside na leitura direta do diâmetro além do fácil transporte e manuseio.

A fita métrica de costura pode ser transformada facilmente em fita diamétrica. Essa fita proporcionará medidas mais exatas do DAP quando a forma do fuste tende a ser circular. Caso o fuste tiver forma elíptica, o diâmetro medido com a fita diamétrica será maior do que aquele de forma circular, considerando-se a mesma área.

3.2.3 Suta

A suta também chamada de calibre, forcípula ou compasso florestal é sem dúvida o instrumento mais utilizado nos levantamentos dendrométricos. Cotta em 1804 (Prodan, 1965) utilizou a suta pela primeira vez, e provavelmente foi o próprio Cotta que idealizou o instrumento.

Este instrumento geralmente é construído de metal leve (ligas de alumínio) ou de madeira (bem tratada). Consta de uma régua (barra) graduada e de dois braços paralelos entre si e perpendiculares à régua graduada (Figura 26). Um braço é fixo e o outro móvel, que desliza-se ao longo da régua graduada. O comprimento da régua, para se tornar fácil no seu manuseio, deve ser inferior a 120 centímetros. O maior diâmetro possível de medida será o correspondente a duas vezes o comprimento do braço (braço = igual ao valor do raio), desde que as pontas dos braços consigam atingir a tangência do fuste a ser medido. A suta permite efetuar leitura direta do diâmetro medido.

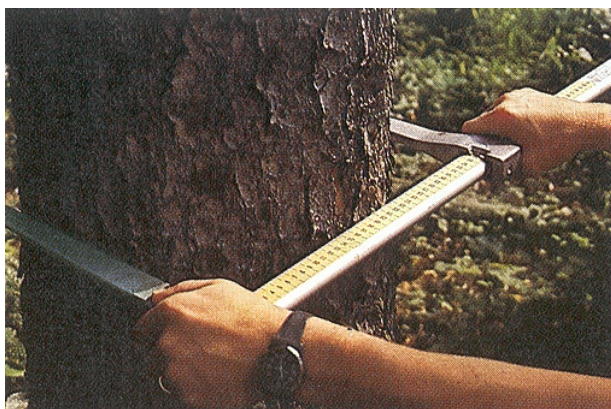
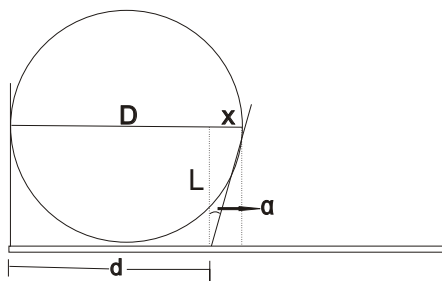


Figura 26. Medição do diâmetro com a suta

Quando o fuste apresentar forma excêntrica (elíptica) se devem efetuar duas medidas (em posição perpendicular) achando assim o seu valor médio. Deve-se ter cuidado com a posição dos braços no momento de fazer a leitura, para evitar erros devido à não perpendicularidade de um dos braços paralelos, à inclinação do instrumento ou irregularidades de crescimento do fuste.

Entre os erros instrumentais, pode-se produzir aquele quando os braços não formam o paralelismo entre si. Este erro normalmente se apresenta em sutas feitas de madeira. A demonstração deste erro mostra-se na Figura 27.



$$\begin{aligned} \text{tag } \alpha &= x \cdot L \\ x &= L \cdot \text{tag } \alpha \\ D &= d + x \\ D &= d + L \cdot \text{tag } \alpha \\ x &= D - d \end{aligned}$$

Cálculo do erro em %

$$p = \frac{D - d}{D} \cdot 100$$

$$p = \frac{L \cdot \text{tag } \alpha}{D} \cdot 100$$

Figura 27. Erro instrumental da Suta

Em fustes cilíndricos efetivamente as fitas diamétricas assim como as sutas oferecem medidas com alta precisão. Para fustes não cilíndricos e quanto maior forem os diâmetros a serem medidos, a fita produz medidas mais precisas comparadas com medidas fornecidas pela suta. O uso da fita é muito aconselhável quando se mede a mesma árvore em períodos sucessivos. Porém quando se mede alguma centena de diâmetros os valores da suta se aproximam mais do diâmetro médio real, o que quer dizer que em trabalhos de inventários florestais de grandes áreas, a suta é mais precisa que a fita. A régua de Biltmore oferece medidas menos precisas que os outros instrumentos e é empregada para trabalhos rápidos que não requerem muita precisão.

Dependendo da precisão desejada, poder-se-á empregar inclusive sutas de precisão (Figura 28). Estes instrumentos são normalmente empregados em trabalhos de pesquisa dendrométrica. Na prática cotidiana as sutas normais, graduadas em intervalos de 1 cm, oferecem uma precisão que satisfaz plenamente.

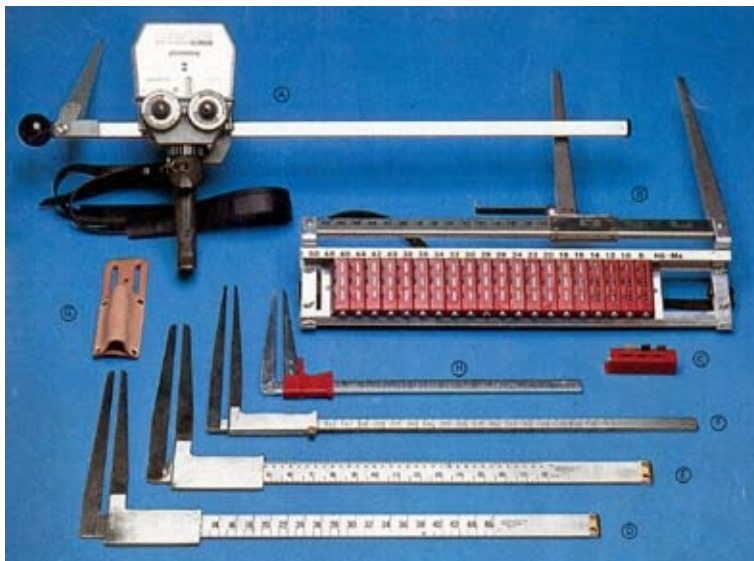


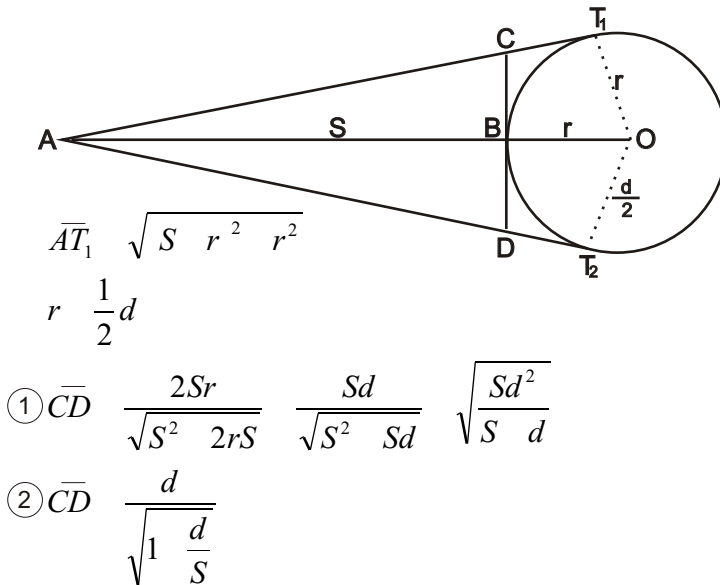
Figura 28. Sutas de precisão

3.2.4 Régua Biltmore

É um instrumento construído de madeira ou de metal leve, em forma de uma régua com um comprimento em torno de 70 cm, que permite ler os diâmetros do fuste, mantendo-a encostada na árvore numa distância constante pré-estabelecida (braço esticado). No mercado norte-americano estas régua estão graduadas para serem mantidas a uma distância de 25 polegadas.

A graduação da régua (CD = intervalo de zero até um cilindro de diâmetro padrão) corresponderá à leitura direta dos diâmetros, obtida pelo princípio da semelhança dos triângulos, na qual intervém a distância constante (S = comprimento do braço ou distância fixa do olho do observador à árvore) e o diâmetro real ou padrão de

construção = D). O princípio da construção da régua mostra-se na Figura 29.



onde CD = valor do diâmetro na escala (a ser graduada)
d = diâmetro da árvore (valor relativo na construção da régua)
S = distância do olho do observador à régua, (comprimento do braço)

Figura 29. Princípio de construção da Régua de Biltmore

Encostando a régua horizontalmente na árvore, o zero da régua deve coincidir com uma das tangências do fuste. A outra tangência que ingressará na graduação da régua, fornecerá o diâmetro da árvore. Leituras imprecisas resultam da não manutenção da distância fixa e da não perpendicularidade da régua com o eixo do fuste.

O Quadro 2 mostra os valores correspondentes na construção da Régua de Biltmore, com quatro comprimentos diferentes (comprimento do braço de 75, 66, 63 e 57 cm respectivamente). Na régua devem ser anotados (aparecer) os valores de “d”. Como

exemplo, para um CD = 1,97 cm na régua, deve-se anotar o valor de 2.00 cm, e assim sucessivamente

Quadro 2. Escalas da Régua Biltmore para diversas distâncias fixas

D (cm)	S = 75 cm	S = 66 cm	S = 63 cm	S = 57 cm
	CD (cm)	CD (cm)	CD (cm)	CD (cm)
2,00	1,97	1,97	1,97	1,96
4,00	3,88	3,88	3,88	3,86
6,00	5,77	5,74	5,73	5,70
8,00	7,60	7,56	7,56	7,49
10,00	9,39	9,32	9,29	9,22
12,00	11,14	11,04	11,00	10,90
14,00	12,85	12,72	12,66	12,54
16,00	14,53	14,35	14,29	14,14
18,00	16,16	15,96	15,87	15,70
20,00	17,77	17,52	17,42	17,20
22,00	19,34	19,05	18,94	18,68
24,00	20,89	20,55	20,42	20,13
26,00	22,40	22,02	21,88	21,54
28,00	23,89	23,46	23,30	22,93
30,00	25,35	24,87	24,69	24,28
32,00	26,79	26,26	26,06	25,61
34,00	28,20	27,62	27,40	26,90
36,00	29,59	28,96	28,72	28,18
38,00	30,96	30,27	30,01	29,43
40,00	32,30	31,56	31,28	30,66
42,00	33,63	32,83	32,53	31,87
44,00	34,93	34,08	33,76	33,05
46,00	36,22	35,31	34,97	34,22
48,00	37,48	36,52	36,16	35,36
50,00	38,73	37,71	37,33	36,49

3.2.5 Suta de tarifa de Bitterlich

A suta de tarifa de diâmetro, também conhecido como visor de diâmetro, construído por Bitterlich corresponde a uma sofisticação da régua de Biltmore. Este visor possui um braço fixo, formando um ângulo de 135° com a base do braço que contém a graduação. Num extremo do braço fixo está fixada uma agulha, que indica a coincidência do ponto da leitura direta na escala de graduação. Essa graduação (leitura direta do diâmetro) acha-se numa curvatura côncava (Figura 30).

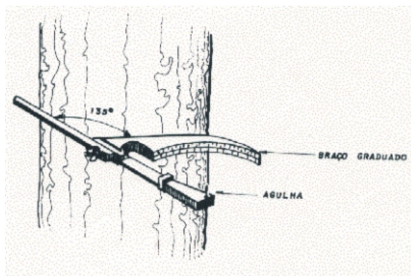


Figura 30. Suta de tarifa de Bitterlich

A leitura do diâmetro se produz encostando o braço fixo e o ângulo de 135° na árvore, fazendo coincidir o ponto zero da graduação com a tangência da árvore. A tangência oposta com a coincidência da agulha fornecerá no braço curvo, a leitura direta do diâmetro. A graduação da régua está dividida para leituras diretas de diâmetro (escala superior) e de área transversal (escala inferior).

3.2.6 Suta Finlandesa

Consiste de um arco parabólico graduado de acordo com a sua abertura. Essa abertura é apoiada no fuste no ponto onde se pretende medir o diâmetro. A leitura é realizada pela visão paralela ao braço normal, também chamado como braço branco normal. No braço parabólico estão as faixas de graduação ou leitura, que correspondem às tangências do fuste (Figura 31).

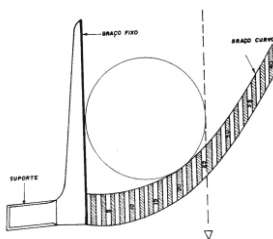


Figura 31. Suta finlandesa

Na Finlândia e na Suíça esta suta é muito utilizada para a leitura de diâmetros a 7 e/ou 9 metros de altura do fuste. É comum o emprego de varas telescópicas de sustentação, acopladas à suta, para atingir diversas alturas de leitura do diâmetro do fuste.

3.2.7 Relacópio de Bitterlich

Para o maior e correto conhecimento das diversas possibilidades que o Relacópio de Bitterlich oferece, deve-se procurar a literatura específica (Prodan, 1965; Prodan *et al*, 1997; Bitterlich, 1984; Bitterlich, 1994). O Relacópio de Bitterlich é um instrumento de alta precisão idealizado em 1948 pelo Prof. Walter Bitterlich, na Áustria. O instrumento é composto por bandas de numeração e escalas de tangentes (Figura 32). Através de um sistema de prismas é possível observar simultaneamente tanto as bandas de numeração e escalas de tangentes, na parte inferior do visor, assim como as árvores a serem medidas, na parte superior do visor. As leituras serão obtidas quando as bandas de numeração ficarem quietas, após a liberação do movimento de oscilação dessas bandas. A construção das bandas faz com que não exista necessidade adicional de cálculo de ajuste ou de restituição, de tal forma que a leitura fornecerá o valor definitivo da variável observada.

Para a medição dos diâmetros com o Relacópio de escala normal, deve-se empregar a banda 1 mais as bandas dos quatro quartos. A banda 1 fica numa proporção entre o diâmetro e a distância do observador à árvore de 1:50. Nesse princípio, duas bandas quartas (metade da banda 1) estarão mantendo a proporção de 1:100. Consequentemente duas bandas quartas corresponderão ao valor da distância entre o observador e a árvore, em centímetros do diâmetro do fuste. Ficando a 20 metros de distância da árvore, duas bandas quartas corresponderão consequentemente a 20 centímetros na medição do diâmetro.

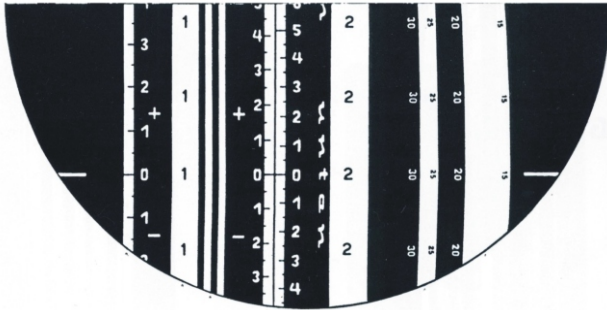


Figura 32. Bandas e escalas do Relascópio de Bitterlich

Visando pela linha de pontaria ou horizonte de leitura através da banda 1, o diâmetro de uma árvore a uma distância de 20m ter-se-á um DAP = 20cm, quando coincidir as tangências do fuste com duas bandas quartas, conforme é mostrado no Quadro 3. DAP = 15 cm, quando coincidir as tangências do fuste com 1,5 das bandas quartas. DAP = 57cm, quando cobrir a visão do fuste a banda 1 mais 1,7 das bandas quartas.

Quadro 3. Determinação de diâmetros através do Relascópio

Dist. m	diâmetro (cm) a que se sobrepõe nas faixas dos quatro quartos e a banda 1							
	uma faixa estreita	duas faixas estreitas	três faixas estreitas	Banda 1	Banda 1 + uma estreita	Banda 1 + duas estreitas	Banda 1 + três estreitas	Banda 1 + quatro estreitas
15	7,5	15,0	22,5	30,0	37,5	45,0	52,5	60,0
20	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0
25	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
30	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0

3.2.8 Pentaprisma de Wheeler

É um instrumento ótico próprio para medir diâmetros em diversas alturas. Nos Estados Unidos o seu uso é muito comum, já no Brasil é pouco conhecido. O seu uso é recomendável para determinar o diâmetro mínimo comercial em árvores em pé. A escala graduada permite obter um intervalo de medição entre 7,6 e 86,4 cm de diâmetro.

O instrumento é construído de um tubo ou paralelepípedo metálico de 85cm de comprimento, possuindo internamente dois prismas, sendo um deles fixo localizado num extremo do instrumento coincidindo com o valor zero da graduação. O instrumento estabelece linhas paralelas de visão. Uma linha de visão é fixa e a outra móvel, permitindo assim, através do segundo prisma, efetuar leituras diretas de diâmetro.

Para o manuseio com o instrumento, o operador deve observar através da linha do ocular o ponto de medida no fuste. Na parte superior da ocular se observará o lado esquerdo do fuste e pelo reflexo ótico do prisma fixo, na parte inferior do ocular deverá se observar o lado direito do fuste. O prisma se deslizará pela régua graduada, até que a imagem do fuste esteja focalizada em forma tangencial oposta, uma tangência acima da outra (Figura 33). Nesse ponto, a posição do prisma móvel fornecerá a leitura direta do diâmetro observado.

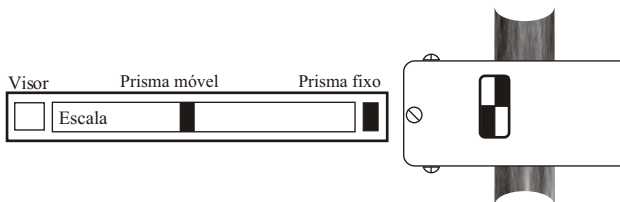


Figura 33. Penta de prisma de Wheeler

3.3 Classes diamétricas

Na prática dendrométrica, em florestas heterogêneas os DAP's normalmente serão agrupados em classes de diâmetro com intervalos de 5 ou 10 cm. Em florestas plantadas estes intervalos são muitas vezes de 2 e 2,5 cm. A distribuição dos diâmetros em classes permite inferir diversos resultados de cálculo estatístico. Em toda distribuição diamétrica, tanto nas formações vegetais naturais heterogêneas como nas plantações de reflorestamento industrial, os diâmetros estarão normalmente distribuídos dentro das leis que orientam a curva de distribuição normal, de tal forma que todos os cálculos da matemática - estatística são possíveis de serem executados.

Uma prova desta distribuição está no gráfico conhecido como Distribuição Diamétrica ou Polígono de Freqüências dos Diâmetros. Solicita-se construir este gráfico em função dos dados do Quadro 4.

Quadro 4. Distribuição dos DAP's em classes diamétricas

Classe Diamétrica	PMC (cm)	Freqüência		
		Absoluta	Relativa	Acumulativa
20 – 30	25	1106	31,19	31,19
30 – 40	35	851	23,99	55,18
40 – 50	45	591	16,66	71,84
50 – 60	55	364	10,27	82,11
60 – 70	65	267	7,53	89,64
70 – 80	75	156	4,40	94,04
80 – 90	85	97	2,74	96,78
90 – 100	95	52	1,47	98,25
100 – 110	105	31	0,87	99,12
110 – 120	115	15	0,42	99,54
120 – 130	125	6	0,17	99,71
130 – 140	135	1	0,03	99,74
140 – 150	145	3	0,08	99,82
150 – 160	155	2	0,06	99,82
160 – 170	165	1	0,03	99,91
170 – 180	175	1	0,03	99,95
180 – 190	185	1	0,03	99,97
190 – 200	195	1	0,03	100,00
Totais		3546	100,00	

3.3.1 Garfo diamétrico

O garfo diamétrico é um instrumento que permite identificar a classe diamétrica a que pertence o diâmetro medido. Este instrumento é útil quando as árvores apresentam diâmetros relativamente pequenos, até 20 ou 25 cm. A leitura da classe é direta, identificando apenas a classe diamétrica, na qual o fuste ingressa dentro do garfo. Para a sua construção deve-se considerar que o comprimento lateral do garfo deve ser igual ou superior ao raio do maior valor da classe diamétrica respectiva (Figura 34).



Figura 34. Suta e garfo diamétrico

Através do garfo diamétrico é contado o número de indivíduos que pertencem as classes diamétricas correspondentes, então interessa se um fuste pertence a classe de 5 a 10cm, 10 a 15cm e assim sucessivamente.

3.4 Crescimento diametral

3.4.1 Dial-Dendro

É um instrumento construído para realizar medições periódicas do crescimento diametral, em intervalos de tempo definidos pelo pesquisador. O instrumento compõe-se basicamente de uma escala de nônios (Figura 35) e uma mola metálica, localizada lateralmente no interior da caixa de suporte. Dependendo da dimensão da circunferência do fuste a ser medido, pode-se utilizar várias bandas metálicas de 300 ou 900 mm de comprimento num sistema de encaixe, que acompanham o instrumento. O princípio de medição está alicerçado na expansão da mola a cada aumento do crescimento diametral do fuste. A escala de medição oferece condições de registrar modificações da circunferência do fuste a partir de 80 mm.

Conseqüentemente, entre uma medição e outra pode-se medir o crescimento diametral correspondente de uma forma muito precisa (Imaña-Encinas, 1994).



Figura 35. Dial-Dendro

3.4.2 Microdendrômetro

É um aparelho desenhado para medir as variações do diâmetro em períodos relativamente curtos (horas, dias ou semanas). Uma modificação deste instrumento é o microdendrógrafo, que registra graficamente o crescimento diametral.

3.4.3 Fitotensiômetro

O fitotensiômetro tem a mesma finalidade que o microdendrômetro, porém este instrumento é mais utilizado em trabalhos de ecofisiologia.

3.5 Réguas Madeireiras

Para as árvores em pé a produção de madeira é quantificada normalmente em metros cúbicos. Para as toras que ingressam no processo de comercialização, especialmente nos mercados internacionais, a unidade de medida utilizada é o pé-de-tábua ou pé madeireiro. Esta unidade representa um corpo sólido em forma de paralelepípedo de madeira com as dimensões de 1 pé x 1 pé x 1

polegada. As unidades, em milhões de pés de tábua, devem ser medidas no extremo menor da tora. Um metro cúbico de madeira equivale a 423,7 pés-de-tábua. Em alguns países, como no Chile, é utilizada a polegada madeireira que corresponde a 10 pés-de-tábuas.

As régua madeireiras estão construídas em presupostos matemáticos (régua Internacional e régua de Doyle) ou em diagramas (régua Scribner), que estimam o volume de corte nas serrarias descontando o volume dos “lombos” que são considerados como desperdício. O princípio fundamenta-se na forma de inserir um quadrado circunscrito no círculo da extremidade inferior da tora cortada, a fim de obter o volume da peça de madeira, chamado na prática como “timber”. As régua madeireiras estão elaboradas para trabalharem com tábuas serradas de 16 pés de comprimento, largas de $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{8}$ de polegada e uma polegada de espessura de tábua. A dificuldade de se manter constantemente estas dimensões, devido à espessura da serra e posicionamento do equipamento de corte, faz que o volume obtido seja diferente do estimado. Neste sentido, o operador da régua deve possuir bastante experiência, a fim de diminuir este erro.

O princípio de construção da régua é o teorema de Pitágoras:

$$D^2 = a^2 + b^2 \quad (a \text{ e } b = \text{lado do quadrado})$$

$$D^2 = a^2 + a^2$$

$$D^2 = 2a^2$$

$$a^2 = D^2 / 2$$

onde a = lado do quadrado (“timber”) em polegadas,
 a^2 = área do “timber” em polegadas quadradas,
 D = diâmetro menor em polegadas (diagonal do quadrado)

Régua Internacional para 16 pés

$$V = 0,796 D^2 \quad 1,374 D \quad 1,23$$

Régua Scribner

$$V = 0,79 D^2 \quad 2 D \quad 4$$

3.6 Diâmetro da copa

Para certos estudos é necessário medir o diâmetro das copas das árvores. Para isto normalmente mede-se o diâmetro da projeção da copa sobre o chão. Poucas vezes tal projeção é circular, o que significa medir o diâmetro pelo menos em duas direções perpendiculares.

A estrutura e crescimento da copa estão em função do espaço físico para ela disponível. Por essa razão, não existe uma correlação estreita de diâmetro de copas entre as árvores numa floresta. Pela posição silvicultural da árvore existem indivíduos que ocupam o estrato das árvores dominantes, outros das árvores co-dominantes, intermédios e dominados. Dependendo do crescimento e posição silvicultural da árvore, as estruturas e consequentemente os diâmetros das copas poderão ser conforme é mostrado na Figura 36.

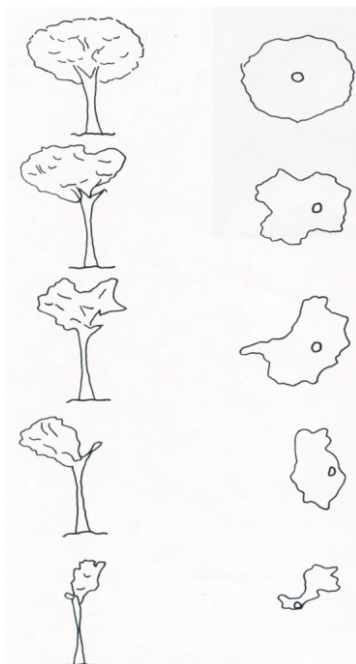


Figura 36. Formas de copas

3.6.1 Fita Métrica

Empregando-se a fita métrica, pode-se medir linearmente o diâmetro da projeção da copa sobre o chão.

3.6.2 Círculos de Superposição

Os círculos de superposição são utilizados para medir os diâmetros das copas sobre as fotografias aéreas verticais, sem ajuda da visão estereoscópica. Estes são uma série de círculos despejados sobre folhas de material plástico transparente. Cada círculo difere de seu vizinho em uma unidade constante. O diâmetro da copa, nas fotografias aéreas, é medido fazendo coincidir com o círculo que maior coincidência apresentar na superposição dos círculos.

A escala dos círculos deve ter a mesma escala da fotografia aérea. No caso de que a fotografia aérea tenha outra escala, o diâmetro da copa é calculado empregando a fórmula:

$$D = \frac{E \cdot d}{E \cdot L}$$

Onde: D = diâmetro da copa
d = diâmetro do círculo
E = escala da fotografia
L = escala do círculo.

3.6.3 Cunha diamétrica

Este instrumento é utilizado freqüentemente em trabalhos de fotointerpretação de fotografias aéreas. No mercado norte-americano é possível encontrar cunhas diamétricas de acrílico para diversas escalas aéreo-fotográficas. Em papel plástico transparente (semelhante ao usado em transparências para retroprojektor) pode-se desenhar na base ou linha horizontal as unidades de graduação, que indicam a distância de separação do ponto oposto da outra linha (inclinada). Para medir o diâmetro das copas se faz coincidir a copa da árvore com as duas linhas em forma tangencial, de tal forma que a leitura do diâmetro será lida na base horizontal.

3.6.4. Medidor de diâmetro da copa de Bitterlich

A medida do diâmetro da copa é considerada uma problemática específica, uma vez que no campo só se poderá medir através de sua projeção no chão. Prof. Bitterlich, na década dos anos 40, idealizou o instrumento e a metodologia que permitisse observar facilmente a tangência das copas, através de um jogo de prismas. Marcando no solo os pontos de coincidência com a bordadura da copa é possível medir o diâmetro correspondente da copa.

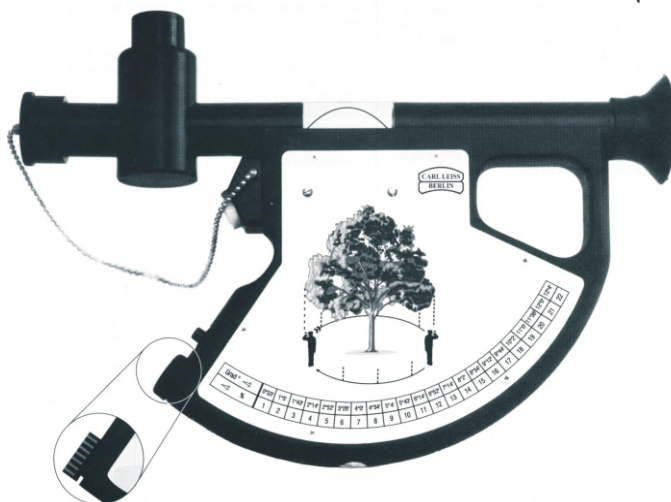


Figura 37. Medidor de copa de Bitterlich

3.6.5 Prisma medidor de diâmetro de copa

Instrumento que corresponde a um tipo de periscópio manual, consiste de dois anéis metálicos suspensos, fixados num suporte em forma de U em cuja base encontram-se dois prismas retângulos, um deles invertido (Figura 38). Através de um dos prismas é possível observar a bordadura da copa e simultaneamente fixar esse ponto de observação no chão. Recomenda-se efetuar esse procedimento em quatro pontos cardeais, para posteriormente realizar as

correspondentes medidas de distância no chão.

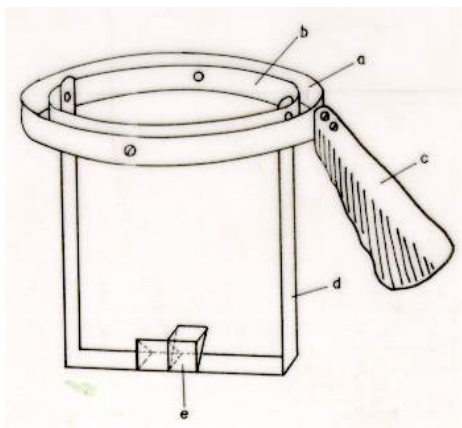


Figura 38. Prisma medidor de copa

4. ÁREA BASAL

Entenda-se por área transversal a superfície de qualquer corte horizontal hipotético, realizado no fuste. Se todas as árvores de um povoamento forem cortadas numa mesma altura se poderá-se obter a área transversal dessa floresta.

Se a área transversal for calculada em função do DAP, fala-se na dendrometria de área basal, sendo de um outro diâmetro chama-se de área transversal ou seccional à altura do referido diâmetro, por exemplo: área transversal a altura do diâmetro da base, área transversal a 7 metros de altura. A área basal de uma árvore está representada pela letra “g” e a área basal de um povoamento por “G”.

Suponha-se que “g” aproxima-se da área do círculo, então a sua determinação de cálculo será em função do DAP ou CAP, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$g = \text{DAP}^2 \cdot /4$$

$$g = \text{CAP}^2 / 4$$

$$g = \text{DAP}^2 \cdot 0,7854$$

$$g = \text{CAP}^2 \cdot 0,0796$$

A unidade de medida de g será em centímetros ou metros quadrados, e de G em metros quadrados.

Uma vez que o hectare é a unidade de referência clássica na dasometria, G estará representada por metros quadrados por hectare. (m^2/ha). A área basal por hectare é consequentemente uma medida da densidade de um povoamento. A área basal média é calculada somando as áreas transversais das árvores que estão dentro do hectare e dividindo-se esta soma pelo número das árvores medidas. A medida da área basal e outras áreas transversais tem sua importância na dendrometria e silvicultura, principalmente por permitir o cálculo do volume de madeira dos fustes e em consequência da árvore e na silvicultura na definição do grau de desbaste. Também é um parâmetro comparativo entre florestas da mesma espécie, idade, e completamente heterogêneas em espécies e em estruturas dendrométricas.

Quando a área basal de uma árvore se aproxima de uma superfície elíptica, faz-se necessário medir o DAP com duas medidas transversais, de tal forma que o cálculo será:

$$g = \frac{D \cdot d^2}{4 \cdot 2}$$

Considerando a área da elipse como

$$g = \frac{D \cdot d}{4}$$

o erro será determinado pela diferença de ambas áreas:

$$E(\%) = \frac{D \cdot d^2}{4Dd} \cdot 100.$$

4.1 Princípio de Bitterlich

O princípio de Bitterlich define basicamente a densidade de um povoamento, determinando a área basal por hectare através de leitura direta nas Parcelas de Área Variável. Este princípio também é chamado de Prova de Numeração Angular, desenvolvido pelo Prof. Walter Bitterlich, na Áustria, em 1948. O primeiro instrumento empregado para esta finalidade foi a barra de Bitterlich.

4.1.1 Barra de Bitterlich

A barra de Bitterlich consiste de uma haste de madeira, de comprimento de 1 metro, tendo numa de suas extremidades uma placa na forma de um U (ferradura) com uma abertura de 2 centímetros (Figura 39). A barra de Bitterlich permite obter a área basal num povoamento sem medir as áreas transversais, ou seja, sem tomar as medidas de diâmetro de árvores individuais.

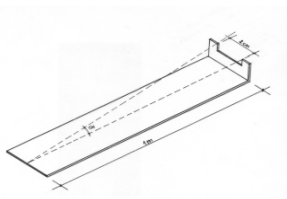


Figura 39. Barra de Bitterlich

O operador mantendo a barra horizontalmente na altura do olho, efetua em torno de si um giro completo de 360° visando através da placa (formando assim um ângulo constante de visão) todas as árvores a altura de 1,30m. Esse ângulo constante na abertura de 2 cm identifica a distância “d” da Figura 41. Devem ser contadas todas as árvores cujo DAP seja maior ou igual à largura da placa (d).

Analisando este procedimento, existem apenas três possíveis situações:

- a) o ângulo produzido será menor que a largura da árvore visada, conseqüentemente o DAP é maior que o ângulo α . A árvore neste caso será contada;
- b) o ângulo produzido será igual à largura da árvore visada, conseqüentemente o DAP é igual ao ângulo α . A árvore nesta situação conta como metade;
- c) o ângulo produzido será maior que a largura da árvore visada, conseqüentemente o DAP é menor que o ângulo α . A árvore neste caso não ingressa na contagem.

O princípio de Bitterlich indica que o número de árvores (N) com DAP igual ou superior ao ângulo constante (α), vistos de um ponto fixo do povoamento, é proporcional à sua área basal (AB) por hectare. Em outras palavras, o número de árvores com DAP igual ou maior ao ângulo de visada fornecerá diretamente a área basal em m^2/ha .

A parcela circular para a contagem ou numeração angular corresponde às Parcelas de Áreas Variáveis. Cada árvore estará produzindo sua própria parcela e nesse sentido cada parcela terá diferente tamanho. Na Figura 40, de acordo com o postulado, lida a partir de um ponto “c” (central) é igual a $4 m^2/ha$. As árvores A_1 , A_2 , e A_4 tem áreas transversais superiores ao ângulo α , e, conseqüentemente sua soma é $N = 3$. As árvores A_3 e A_6 ingressam na contagem como $\frac{1}{2}$ unidades (somando eles, $N = 1$) e as árvores A_5 e A_7 não são consideradas. No resultado da contagem $N = 4$.

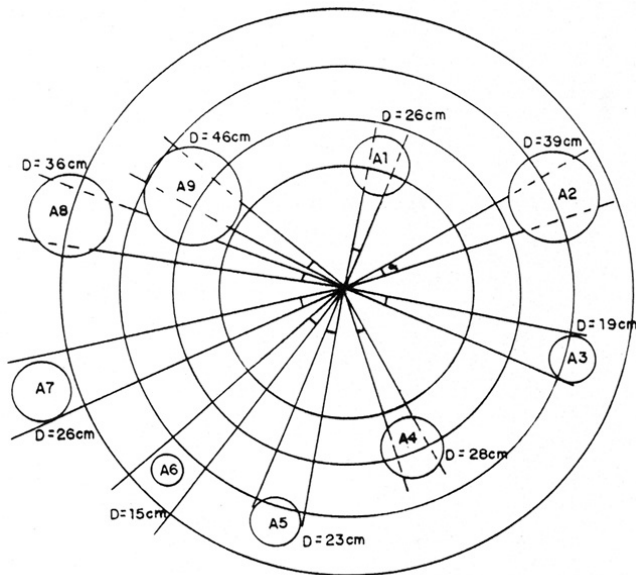


Figura 40. Parcela de área variável

Multiplicando N pela constante instrumental (K), neste caso igual a 1, tem se:

$$AB = N \cdot K$$

$$AB = 4 \cdot 1$$

$$AB = 4 \text{ m}^2/\text{ha.}$$

4.1.2 Prova de Numeração Angular

Considerando que a barra de Bitterlich fornece apenas uma leitura, existe na parcela uma árvore com diâmetro D (Figura 41).

L = Comprimento da barra de Bitterlich
 d = abertura angular
 D = DAP
 R = raio da parcela

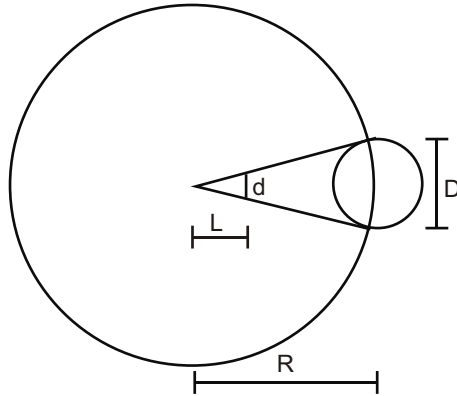


Figura 41. Prova de numeração angular

Na Figura 41, L representa o comprimento da barra de Bitterlich (100cm), d a abertura da mira (2cm), R o raio da parcela, D o diâmetro da árvore de área seccional A_s .

A área da parcela (A_p) é calculada por $\pi \cdot R^2$.

Considerando a relação $d/L = D/R$

a área basal proporcional (AB) é representada pela relação entre a área seccional (A_s) da única árvore e a área da parcela (A),

$$AB = \frac{A_s}{A}$$

$$AB = \frac{1/4 D^2}{R^2}$$

$$AB = \frac{1}{4} \left(\frac{D}{R} \right)^2$$

Pela relação anterior, substituindo-se D/R, tem-se:

$$AB = \frac{1}{4} \frac{d^2}{L}$$

Que é a expressão que significa a proporcionalidade existente entre as duas áreas.

Multiplicando por 10^4 para estimar a área basal por ha, a fórmula transforma-se em

$$AB = 10^4 \frac{1}{4} \frac{d^2}{L}$$

Que corresponde ao postulado de Bitterlich

$$AB = N \cdot K$$

Demonstração: existindo apenas uma árvore ($N = 1$) na prova de numeração angular

$$AB = 1 \cdot K$$

$$K = \frac{10^4 \frac{1}{4} \frac{d^2}{L}}{1}$$

$$K = 10^4 \frac{1}{4} \frac{d^2}{L}$$

Expressão que representa a constante instrumental.

Substituindo-se nesta fórmula, os valores dimensionais da barra, tem-se

$$K = 10^4 \frac{1}{4} \frac{2}{100}^2$$

$$K = 10^4 \cdot 10^{-4}$$

$$K = 1$$

Conseqüentemente a área basal por hectare será

$$\begin{aligned} AB &= N \cdot K \\ AB &= 1 \cdot 1 \\ AB &= 1 \text{ m}^2/\text{ha}. \end{aligned}$$

O que comprova o enunciado de Bitterlich, de que o número de árvores enumerados na parcela de área variável representa a área basal por hectare ($N = \text{m}^2/\text{ha}$)

Analisando a Figura 40, onde $N = 4$

$$\begin{aligned} AB &= \frac{4 A_s}{A} \\ AB &= \frac{4 \frac{D^2}{4}}{R^2} \\ AB &= \frac{D^2}{R^2} \frac{D^2}{R^2} \frac{d^2}{L^2} \end{aligned}$$

Multiplicando por 10^4 para ter a área basal/ha

$$AB = 10^4 \frac{d^2}{L^2}$$

e como $N = 4$

$$AB = 4 \cdot K$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{10^4 \frac{d^2}{L^2}}{4} \\ K &= 10^4 \frac{1}{4} \frac{d^2}{L^2} \\ K &= 1 \end{aligned}$$

que é, como já foi indicado, a constante instrumental.

Substituindo os valores correspondentes, se comprova novamente o princípio de Bitterlich, de

$$AB = N \cdot K$$

$$AB = 4 \cdot 1$$

$$AB = 4 \text{ m}^2/\text{ha}$$

sendo que $K = 1$, para uma árvore ou qualquer número de árvores com diâmetros com valor igual ou superiores ao ângulo de visada da barra de Bitterlich.

4.2 Parcela de Área Variável

As parcelas de área variável são conhecidas também como unidades amostrais relascópicas ou parcela de Bitterlich correspondendo a um tipo de parcelas de amostra probabilística, onde a probabilidade de selecionar uma árvore é proporcional à sua área basal.

No processo de amostragem, o operador escolhe aleatoriamente um ponto na floresta, que representará o centro da parcela de área variável. A partir desse ponto procederá a observação das árvores conforme metodologia descrita no uso da barra de Bitterlich. Nesse princípio, cada árvore da floresta passa a ser considerada dentro das normas clássicas e princípios da probabilidade estatística.

Considerando que cada árvore está demarcada pela circunferência de um raio produzido pela própria posição da árvore, é que se produz uma área de referência de sua própria relação. Assim, cada árvore terá uma parcela própria dentro do conjunto da Parcela de Numeração Angular.

4.2.1 Área basal por classe diamétrica

Suponha-se uma árvore com $DAP = 20\text{cm}$. Retornando à Figura 41, foi indicada a relação

$$D/L = D/R$$

$$R = (D \cdot L) / d$$

Substituindo valores conhecidos, tem-se

$$R = (20 \cdot 1) / 2$$

$$R = 10 \text{ m}$$

A este raio é que se conhece como distância crítica, que significa que o centro da árvore de 20 cm de DAP estará a 10 metros de distância do ponto central da parcela.

Considerando que a área (superfície) da parcela é igual a:

$$\begin{aligned} A &= \cdot R^2 \\ A &= 3,1416 \cdot 102 \\ A &= 314,16 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

e a área basal da árvore será:

$$\begin{aligned} AB &= /4 \cdot \text{DAP}^2 \\ AB &= 0,7854 \cdot 20^2 \\ AB &= 314,16 \text{ cm}^2 = 0,031416 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Pelo cálculo de uma simples regra de três, tem-se:

$$\begin{array}{l} 314,16 \text{ m}^2 - 0,031416 \text{ m}^2 \\ 10.000 \text{ m}^2 - x \end{array}$$

num hectare existirá apenas uma (1) árvore, correspondendo a 1m²/ha.

Para estimar o número de árvores por hectare, considerando o exemplo anterior, se terá pelo postulado de Bitterlich

$$\begin{aligned} n &= \frac{10.000}{\text{área da parcela variável}} \\ & \text{de } R \text{ à distância crítica} \\ n &= \frac{10.000}{314,16} = 31,82 \end{aligned}$$

uma vez que existe na parcela de área variável apenas uma árvore com DAP = 20 cm, numa hectare deverão existir 32 árvores com esse diâmetro.

Se na parcela de área variável fossem contadas 2 árvores com DAP = 20cm cada, o cálculo de determinação do N° de árvores/ha seria

$$31,82 \times 2 = 63,64 = 63 \text{ árvores/ha.}$$

Estimando a área basal/ha, se poderá então medir os DAPs de todas as árvores contadas na parcela de área variável, anotando essas leituras separadamente por classe diamétrica. O somatório das leituras por classe de diâmetro será multiplicado pelo fator K, obtendo-se assim a área basal por classe diamétrica.

Considerando qualquer fator de numeração (cada árvore contada equivale a um número de árvores igual ao valor desse fator multiplicado por 1), a fórmula de cálculo será:

$$n_{\text{classediamétrica / ha}} = \frac{K}{\frac{\text{área_secional}}{\text{classe_DAP}}}$$

4.3 Instrumentos

4.3.1 Relascópio de Espelho

Para medir a densidade de uma floresta ou povoamento através do Relascópio de Espelho, deve-se trabalhar com as bandas 1, 2 e com os quatro quartos. Essas bandas são também conhecidas como escalas ou faixas de numeração. Num giro de 360° graus, o número de árvores contadas será multiplicado pelo fator basimétrico indicado na própria banda. A determinação da área basal segue o princípio da barra de Bitterlich.

A largura das bandas ou faixas de numeração está relacionada com o fator de numeração K. Assim para K = 1, corresponde a faixa numerada com o número 1. Para K = 2, deve-se empregar a faixa 2, e para K = 4 será utilizada a largura 1 somada das quatro faixas estreitas localizadas a sua direita (faixas preta, branca, preta, branca) conforme mostra-se na Figura 42.

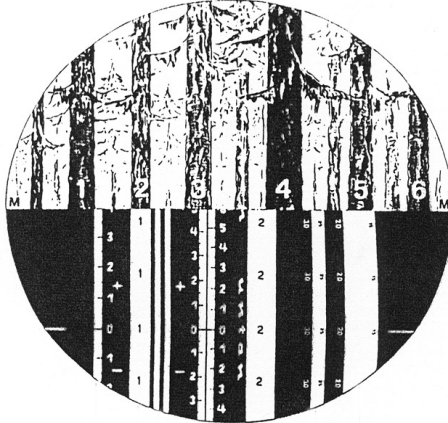


Figura 42. Bandas de numeração no Relascópio

Uma das grandes vantagens do relascópio é que as bandas corrigem automaticamente a declividade, tornando assim o instrumento mais preciso e de fácil manuseio.

4.3.2 Tubo basimétrico de Panamá

Para medir a área basal com este instrumento, deve-se observar a árvore como é mostrada na Figura 43. No mesmo princípio da parcela de numeração angular as árvores serão contadas. O fator de área basal do instrumento clássico corresponde a um BAF = 10, que nas unidades americanas representa o número de árvores contados = pés quadrados por acre.

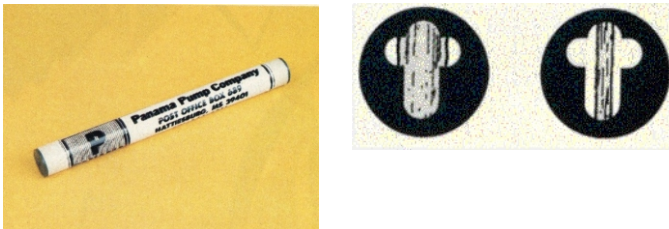


Figura 43. Tubo basimétrico do Panamá

4.3.3 Prisma basimétrico

O prisma é um instrumento leve e de baixo custo, desenvolvido nos EE.UU. logo após o surgimento da teoria de Bitterlich. A diferença com o relascópio consiste em que o prisma não faz correção da declividade.

A graduação dos prismas esta dada em dioptrias, que correspondem ao fator de numeração K, que neste instrumento é chamado de fator de área basal (BAF), indicado no extremo inferior do prisma (Figura 44).

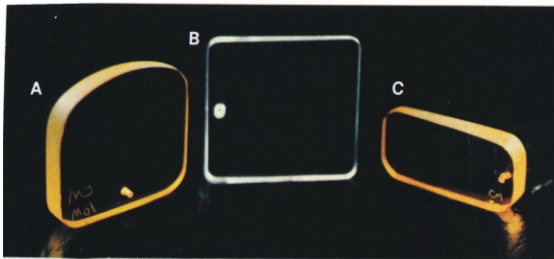


Figura 44. Prismas basimétricos

A graduação das dioptrias corresponde ao deslocamento de uma unidade em 100 unidades de distância. Duas dioptrias representam o fator $K = 1$, da barra de Bitterlich, sendo que

$$\text{Dioptria} = 2\sqrt{K}$$

$$K = (d_i / 2)^2$$

que é a relação que expressa a proporcionalidade entre as dioptrias de um prisma e o fator K.

Na prática dendrométrica são os seguintes BAFs mais empregados:

- no sistema inglês: 2,5 5 10 15 20 25 30 35 40 50 60 70 80 90 e 100;
- no sistema métrico: 1 2 2,5 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 e 17.

O uso do prisma obedece aos mesmos princípios das parcelas de áreas variáveis. Durante as leituras o prisma deve ocupar o ponto central da parcela e não o olho do observador, mesmo que a distância entre o olho do operador e o prisma não influi significativamente no resultados das leituras.

Ao se observar o fuste da árvore através do prisma, três diferentes imagens poderão ser notadas (Figura 45):

- a) Quando a tangência do fuste da árvore ainda esta na projeção do tronco, nesse caso a árvore ingressa na contagem ou numeração da parcela;
- b) Quando a tangência direita do fuste da árvore coincide com a tangência esquerda da projeção do fuste. Nesse caso a árvore ingressa na contagem com valor médio;
- c) Quando a tangência do fuste da árvore esta totalmente fora da projeção do tronco, e nesse caso a árvore não ingressa na contagem correspondente.

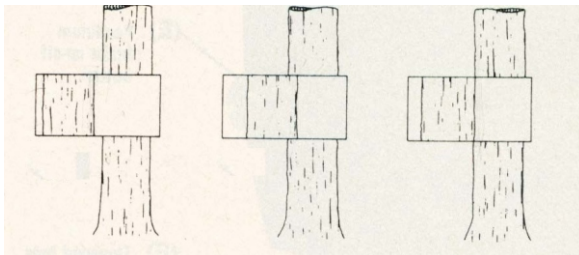


Figura 45. Observação do fuste através do prisma.

4.4 Outras áreas dasométricas

4.4.1 Área da superfície do fuste

A determinação da área da superfície do fuste é empregada para identificar o volume de madeira da tora. Para esse efeito deve-se medir diâmetros correspondentes no fuste da árvore, porém atualmente é uma medida pouco utilizada.

Para calcular a área da superfície do fuste pode-se escolher um dos seguintes métodos:

- através do desenho, num sistema de coordenadas, os pontos de interseção de alturas e diâmetros ou circunferências. Unem-se os pontos medidos através de um polígono a fim de obter a superfície correspondente;
- aplicando a fórmula da superfície lateral de um cone truncado.

Será então necessário medir os raios (r_1 e r_2) dos extremos do sólido geométrico e a altura inclinada correspondente, através da seguinte expressão:

$$S = (\pi \cdot r_1 + \pi \cdot r_2) h$$

4.4.2 Área de cobertura

A área de cobertura é aquela coberta pelas copas das árvores, no chão poderá ser medida pela projeção das copas. Esta área identifica a densidade de uma floresta. Este parâmetro em fotografias aéreas é fácil de ser medido através de cunhas diamétricas ou grade de pontos.

4.4.3 Área de laminado

Para calcular os metros quadrados de laminado que oferecerá

$$A = L \cdot b$$

$$L = \frac{A}{b} = \frac{D \cdot d^2}{4a}$$

onde

- A = área total
- L = comprimento do laminado
- b = largura do laminado
- a = espessura do laminado
- D = diâmetro maior da tora
- d = diâmetro menor da tora.

4.4.4 Área foliar

A área foliar é importante parâmetro nos estudos fisiológicos das plantas, permitindo identificar entre outros os índices de transpiração das plantas. Torna-se muito difícil medir a área foliar total de uma árvore. Seu cálculo só é possível realizar através de cálculos de correlação.

4.5 Instrumentos para medir áreas em gráficos e mapas

Planímetro

Instrumento que serve para medir qualquer área ou superfície num mapa, seguindo seus limites. No mercado existem diversos modelos de planímetros, sendo os mais conhecidos os planímetros polares. Estes instrumentos fornecem diretamente a área considerada. Para seu correto manuseio o instrumento deve estar calibrado com a escala do mapa ou figura.

Quadrículas de pontos

Também conhecidas como grade de pontos. Em material transparente, placa de acrílico ou folha plástica dura, é desenhada uma grade de pontos. Cada ponto corresponderá a determinada área ou superfície e a distância entre pontos ficará definida pela escala que pretende-se usar. O número de pontos corresponderá à área observada ou metros quadrados ocupados.

Balança de precisão

Utilizando balanças de precisão é possível identificar diversas superfícies irregulares. Para esse efeito, deve-se recortar a superfície que pretende-se medir e pesar essa figura numa balança de precisão. Será necessário identificar previamente o peso que representará um centímetro quadrado. Por um simples cálculo de relação se obterá a superfície procurada.

5. ALTURA

A altura da árvore é uma importante variável dendrométrica, necessária para estimar, junto com o diâmetro, fundamentalmente o volume de madeira da árvore e seus componentes. Torna-se também necessária conhecer a medida de altura para a interpretação do processo de crescimento e incremento volumétrico, e fornece importante subsídio à classificação de sítios. Pela variável altura poder-se-á indicar a qualidade do local de crescimento quando for analisada junto com a idade (Campos, 1983),

Duas árvores, provenientes de uma mesma safra de sementes, recebendo similar tratamento silvicultural, poderão apresentar o mesmo valor em DAP, porém podem diferir significativamente em altura, fornecendo consequentemente volumes de madeira diferentes.

5.1 Pontos de medição da altura

Segundo a parte da árvore que deseja-se medir, distingue-se (Figura 46):

- a. altura total (H) da árvore: distância vertical considerada desde o chão até o ápice da copa;
- b. altura do fuste (h_f): distância vertical que corresponde desde o chão até a base da copa;
- c. altura comercial (h_c): parte do fuste economicamente aproveitável que corresponde a distância desde a altura do corte até a altura do diâmetro mínimo comercial;
- d. altura do toco ($h_{0,3}$): parte que fica no terreno após o corte aproveitável da árvore, que corresponde normalmente a distância desde o chão até uma altura de aproximadamente 30 cm;
- e. altura da copa (h_{cop}) = $H - h_f$.

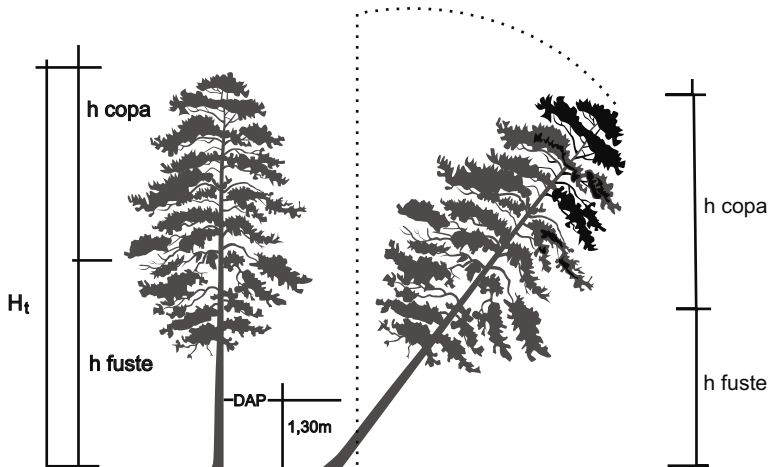


Figura 46. Pontos de medição da altura

5.2 Métodos de medição da altura

Existe a possibilidade de se obter estimativas da altura da árvore a olho desarmado, baseado em enorme experiência do observador. Porém as medidas de altura classificam-se em:

a. Métodos diretos ou expeditos

Quando as medidas são tomadas diretamente na árvore.

Em árvores em pé, são utilizadas varas graduadas, miras topográficas e réguas, dependendo do comprimento máximo desses instrumentos. Um processo quase que impraticável, é o uso de escadas ou subindo na árvore a fim de determinar a sua altura através de uma trena.

Em árvores abatidas, a medida de altura (comprimento da árvore) se procederá empregando uma régua graduada ou trena.

b. Métodos indiretos ou de estimação

São aqueles que precisam de instrumentos (hipsômetros) na determinação da altura correspondente. Dependendo da altura a ser medida e condições de trabalho, são produzidos erros de estimativa de até $\pm 5\%$ do valor real.

Estes instrumentos baseiam-se em princípios geométricos (que procuram a semelhança dos lados de triângulos semelhantes) ou princípios trigonométricos (que requerem conhecer um lado e um ângulo de triângulos retângulos).

A medição de altura de árvores em fotografias aéreas baseia-se no princípio do deslocamento da sombra ou na visão estereoscópica.

A literatura descreve uma quantidade grande de instrumentos e métodos para medir e determinar a variável altura (Bruce e Schumacher, 1950; Chapman e Meyer, 1949; Prodan et al, 1997), porém são poucos os difundidos e aceitos na prática cotidiana da mensuração florestal, seja em razão da precisão proporcionada por eles, seja em virtude das características de construção e manuseio, e finalmente pelo preço e dificuldades de aquisição nos mercados locais.

A seguir, serão descritos somente aqueles que acreditamos que são os mais empregados nos trabalhos de mensuração florestal, considerando as características silviculturais das nossas florestas.

5.2.1 Métodos baseados em princípios geométricos

Método das sombras

Fixe-se ao chão, perto da árvore, uma baliza de altura conhecida, de tal forma que as sombras da árvore e da baliza fiquem projetadas, medindo assim o comprimento das sombras (Silva e Paula Neto, 1979) será possível calcular a altura da árvore pela expressão a seguir. Uma das fontes de erro é a posição não sempre vertical da árvore e o horário do zênite.

$$\frac{\text{altura_da_árvore}(H)}{\text{comprimento_sombra_árvore}(h)} = \frac{\text{altura_baliza}(S)}{\text{comprimento_sombra_baliza}(s)}$$
$$H = \frac{S \cdot h}{s}$$

Método da superposição de ângulos

Encosta-se na árvore uma baliza de altura conhecida. Segurando com o braço distendido um lápis, o operador deve-se afastar da árvore até coincidir exatamente os extremos do lápis com os da baliza. Sobrepondo posteriormente a base do lápis com o extremo superior da baliza, identifica-se o ponto de coincidência do extremo superior do lápis na árvore (Figura 47), e repete-se essa operação até o ápice da árvore (Silva e Paula Neto, 1979). A altura da árvore será a soma dos ângulos superpostos. Recomenda-se não utilizar balizas superiores a 2 metros.

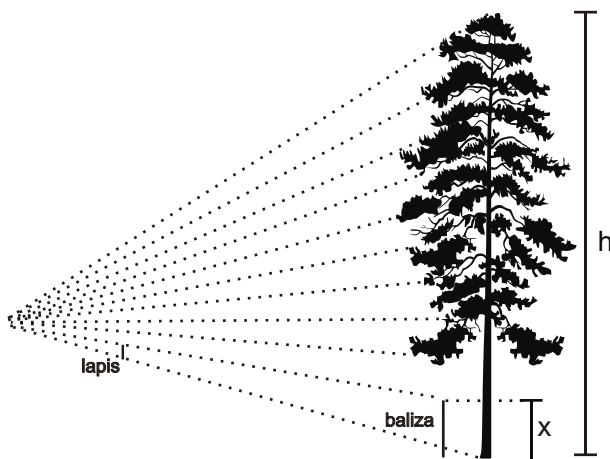
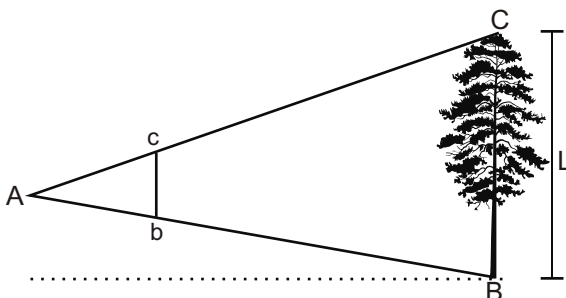


Figura 47. Método da superposição de ângulos

Método da vara

Com uma vara de comprimento superior ao comprimento do braço do operador, posicioná-la de tal forma que coincida com o comprimento do braço distendido do operador. Colocando posteriormente a vara em posição vertical, o operador deve se afastar da árvore até coincidir à altura desta com o comprimento da vara. Nesse ponto, medindo a distância horizontal do observador à árvore, ter-se-á, por semelhança de triângulos, a altura da árvore.



$$Ab = bc$$

$$AB = BC$$

$$AB = L$$

Figura 48. Método da vara

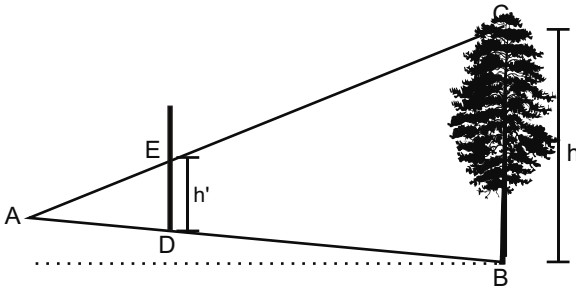
5.3 Instrumentos de princípios geométricos

Os instrumentos baseados em princípios geométricos são fáceis de serem construídos, seu manuseio é simples, são mais baratos e requerem apenas uma leitura para medir a altura da árvore. Estes instrumentos porém são menos precisos que os construídos em princípios trigonométricos.

5.3.1 Hipsômetro de Merrit

Consta de uma régua graduada em função do comprimento do braço do operador e da distância fixa do observador à árvore. A mão estendida assegura o instrumento (régua) na sua posição vertical. A leitura direta da altura se obtém da régua graduada. Com este instrumento é possível obter com rapidez leituras de altura de árvores que crescem em povoamentos não muito densos. Também é possível graduar a régua em alturas de toras comerciais, quando a leitura expressará número de toras comerciais de igual comprimento, por árvore. No mercado americano é possível encontrar hipsômetros de Merrit e réguas de Biltmore construídos num instrumento só, de tal

forma que uma face do instrumento fornecerá leituras de altura e a outra leituras de diâmetro



$$\frac{CB}{AB} = \frac{ED}{AD}$$

$$ED = \frac{CB \cdot AD}{AB}$$

$$ED = \frac{CB \cdot 60}{30} \quad CB \cdot 2 \quad h' \quad h \cdot 2$$

AB = 30m
AD = 60m

h (m)	h' (cm)	h (m)	h' (cm)
10	20	1	2
15	30	2	4
20	40	3	6
15	50	4	8
30	60	5	10
35	70	6	12
40	80	7	14
45	90	8	16
50	100	9	18

Figura 49. Construção do hipsômetro de Merrit

Na fórmula que é utilizada para graduar a régua, corresponde AD = comprimento do braço do operador; CB = altura da árvore; AB = distância a árvore (recomenda-se ser múltiplo de 10m). Para árvores estimadas entre 15 a 30 m de altura emprega-se normalmente 20 m de distância. ED = altura encontrada na régua (gradação).

5.3.2 Hipsômetro de Christen

Este instrumento é na realidade uma régua, normalmente de 30 cm de comprimento, pode ser dobrável e de fácil transporte. Para o emprego da régua é requerido uma vara ou haste adicional de comprimento conhecido, que é encostada junto a árvore a ser medida. A graduação (a) do hipsômetro está em função do comprimento da vara (A) utilizada (Figura 50). A escala (a) é graduada na régua (H = normalmente 30 cm) de cima para baixo, em intervalos de 1m.

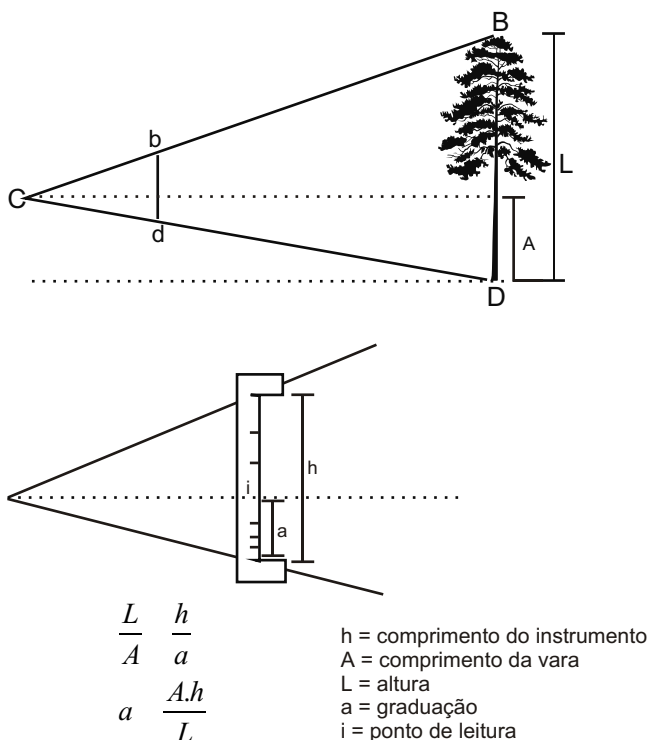


Figura 50. Construção do hipsômetro de Christen

Quanto maior for a vara, maior a precisão da leitura. Recomenda-se empregar varas maiores a 2 metros, num sistema de encaixe pode-se usar varas até de 7 metros. Varas muito cumpridas são difíceis de manuseio dentro dos povoamentos, especialmente em

florestas densas. Quando a árvore tiver alturas relativamente grandes, o resultado torna-se menos preciso, em razão de existir um adensamento de unidades na escala (parte inferior), o que dificulta a leitura correta.

A leitura pode ser feita a qualquer distância desde que a árvore fique plenamente enquadrada entre as reentrâncias da régua, de forma que o ponto “b” da régua coincida com o ponto “B” da árvore (ou parte superior que se deseja medir), e o ponto “d” com o ponto “D”. Consegue-se esta situação, deslocando-se para frente ou para trás, ou alongando ou contraindo o braço que segura o hipsômetro em posição vertical (pendurado). Posteriormente olhando o extremo superior da vara encostada na árvore, indicará na escala (ponto “i”) a altura da árvore.

5.4 Instrumentos de princípios trigonométricos

Quando é empregado instrumento construído em princípios trigonométricos, requer-se fazer duas leituras, uma visando a base da árvore e a outra ao ápice da copa, a uma distância horizontal fixa.

Considerando um triângulo retângulo, o princípio trigonométrico baseia-se no cálculo da tangente do ângulo. Se AB é a distância do observador à árvore e BC a altura da árvore, tem-se:

$$\text{tag} \quad \frac{BC}{AB}$$

altura da árvore = distância horizontal $\text{tag } \alpha$

Segundo o terreno e a posição do observador, a Figura 51 apresenta os três casos possíveis na medição de alturas, utilizando instrumentos trigonométricos:

- a. quando o observador está em terreno plano,
- b. o observador está num ponto acima da altura da árvore,
- c. o observador está num ponto inferior à base da árvore.

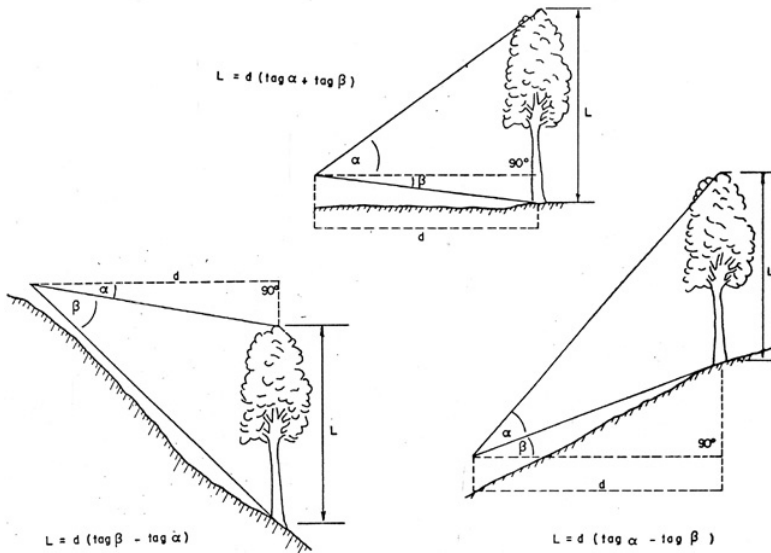


Figura 51. Leitura da altura da árvore

Dependendo da posição do ângulo vertical, ter-se-á leituras positivas e negativas:

Leitura inferior	Leitura superior	altura
-	+	$L = d (\text{tag } + \text{tag })$
-	-	$L = d (\text{tag } - \text{tag })$
+	+	$L = d (\text{tag } - \text{tag })$

Quando as leituras são de mesmo sinal, subtrai-se a leitura menor da maior, e quando as leituras são de sinal contrário, somam-se as duas. Alguns instrumentos construídos nos princípios trigonométricos trazem escalas graduadas a base de $d \cdot \text{tag}$, com os quais se efetuam as leituras a distâncias conhecidas, segundo as regras anteriores.

5.4.1 Hipsômetro Haga

Conhecido também como altímetro Haga, é um instrumento que utiliza um pêndulo que se estabiliza pela gravidade. Possui uma janela onde é mostrada a escala de leitura (Figura 52). São escalas graduadas para distâncias de 15, 20, 25 e 30 metros, construídas na base de: $H_1 = d \cdot \text{tag } \alpha$ e $H_2 = d \cdot \text{tag } \beta$. Designando por H_1 a leitura superior e H_2 a leitura inferior. Conclui-se que a soma das leituras fornecerá a altura da árvore ($H = H_1 + H_2$).

Além das escalas de distâncias contém ainda uma escala de porcentagem para medidas de declividade. Segundo a distância desde a qual efetua-se a medição, deve-se utilizar a escala própria para essa distância. As escalas aparecem na janela pelo simples giro do mecanismo situado na frente do instrumento. Em alguns hipsômetros Haga é possível encontrar um aditamento ótico (telêmetro) que é utilizado para medir as distâncias constantes nas escalas.



Figura 52. Hipsômetro Haga

Para efetuar as medidas de altura, deve-se liberar primeiramente o pêndulo. Visando para a base da árvore, quando o pêndulo deixar de oscilar, o mesmo é travado nesse ponto, produzindo assim a primeira leitura. De forma similar, visando o topo da árvore ou

ponto de medida de altura, se procederá a sua segunda leitura.

5.4.2 Hipsômetro Blume Leiss

A construção e manuseio deste hipsômetro seguem os mesmos princípios do hipsômetro Haga. A diferença está na apresentação das escalas. No Blume Leiss, elas estão visíveis numa mesma janela, uma abaixo da outra (Figura 53). As escalas de 15, 20, 25 e 30 metros como a escala de porcentagem, estão identificadas num círculo e necessitam para a sua leitura, da liberação do pêndulo e leitura correspondente conforme descrição feita para o hipsômetro Haga. Para maior precisão, a distância mais indicada para se proceder às leituras de altura não deve ficar muito diferente da altura a ser medida. No instrumento, vem acoplado um telêmetro (letra s da Figura 53) para medir as distância de uso do instrumento.

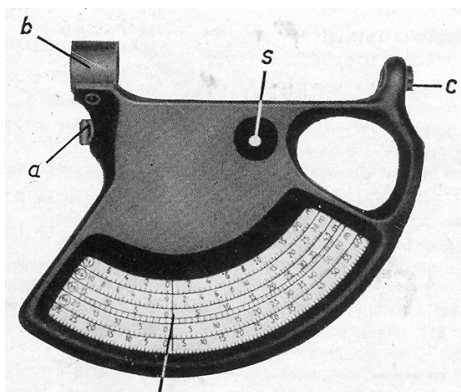


Figura 53. Hipsômetro de Blume Leiss

5.4.3 Hipsômetro de Weise

Este hipsômetro, desenvolvido inicialmente na Alemanha foi introduzido e divulgado no mercado nacional pelo IPEF em 1979 (Couto e Ferrari, 1979). O instrumento consta de um tubo metálico, onde está fixada lateralmente uma escala graduada para a leitura da

altura da árvore (Figura 54). Perpendicularmente a esta escala, tem-se uma escala de distâncias. No extremo superior dessa escala está instalado o pêndulo que será utilizado nos mesmos princípios dos hipsômetros Haga e Blume Leiss. A grande vantagem deste hipsômetro consiste em poder realizar leituras a partir de qualquer distância horizontal, uma vez que a escala de distância apresenta uma graduação pertinente.

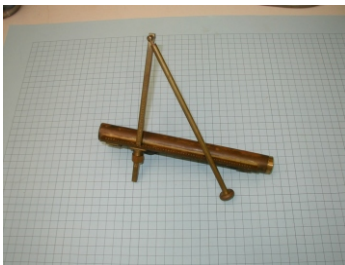


Figura 54. Hipsômetro de Weise

5.4.4 Clinômetro Suunto

Atualmente, existe uma gama de variações na construção dos clinômetros Suunto, apresentando escalas com divisão de 400 gons e 360 graus, com escalas de valores percentuais. No modelo clássico as escalas óticas estão graduadas em quadrantes de 0 a +90 e de 0 a -90 graus, de 0 a +150% e de 0 a -150%. O instrumento é uma caixa metálica de aproximadamente 120 gr, de manuseio muito simples e apresenta alta precisão nas suas leituras. Uma tabela de cosenos para efeitos de correção de declividade está impressa na parte posterior do instrumento.

Recomenda-se efetuar as leituras com o olho direito, é importante que os dois olhos fiquem abertos durante o processo de medição. O operador deve segurar o instrumento encostando-o no olho direito a fim de efetuar as leituras através da lente do clinômetro (janela circular). Visando o ponto de medição da altura com o instrumento, pelo efeito da ilusão ótica, o filamento transversal vermelho que fica nas escalas, dá a impressão que ela sobressai do instrumento. Fazendo coincidir o ponto de leitura com o valor da escala a ser utilizada obtêm-se a leitura correspondente dentro do mesmo princípio dos hipsômetros Haga e Blume Leiss.

Devido a grande aceitação do instrumento em diversas atividades da mensuração florestal, é que existe hoje no mercado diversas variantes do instrumento, inclusive é possível encontrar instrumentos Suunto combinados, clinômetros e bússulas, conhecidos como instrumentos gêmeos Suunto.

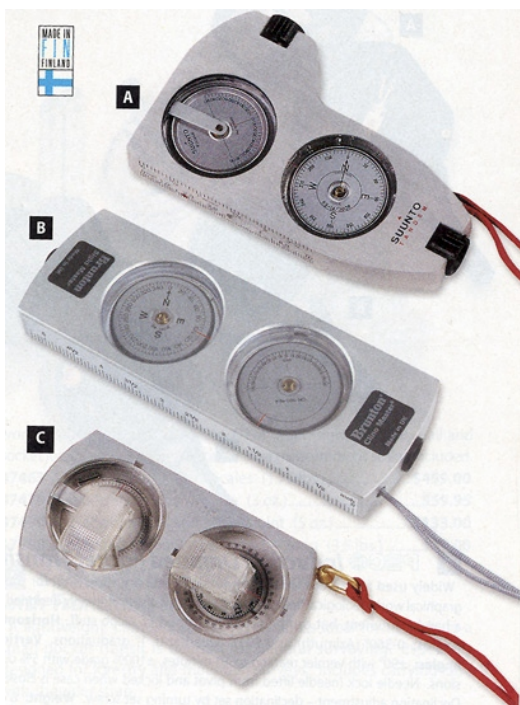


Figura 55. Instrumentos gêmeos Suunto

Considere a medição da altura total de uma árvore, localizada a 25 metros do instrumento, num terreno plano. Fazendo coincidir o filamento transversal vermelho com o extremo superior (ápice) da árvore, se procederá à sua leitura correspondente. O valor da escala está apontando, por exemplo, em 48% (ou 25,5°). Como a distância do observador à árvore é de 25m, a altura da árvore será:

$$48/100 \times 25\text{m} = 12\text{m}$$

Acrescentando a esse resultado a altura do olho do observador (por exemplo, 1,6m), deverá se somar mais esse valor a fim de obter-se a altura total dessa árvore ($12 + 1,6 = 13,6$ m). Para medições mais precisas e em terrenos inclinados, deve-se tomar duas medições, uma na base da árvore e uma outra no ponto de altura correspondente.

Os clinômetros Suunto de última geração, foram construídos em função da experiência dasométrica praticada nas últimas décadas nas florestas da Europa Central. Nestes clinômetros existem duas escalas de tangência para serem utilizadas: 15 e 20 metros de distância.

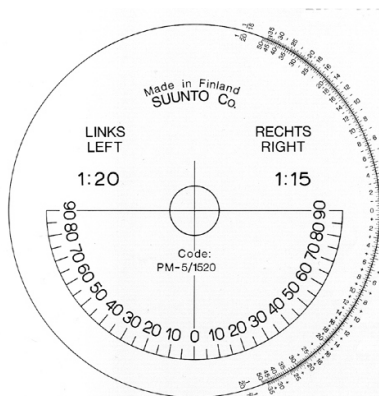


Figura 56. Clinômetro Suunto para distâncias fixas

Nos instrumentos que possuem escalas com valores percentuais, todas as leituras estão alicerçadas na distância horizontal. Nesse sentido, se é medida a distância sobre um plano inclinado, se introduz um erro e esse erro deve ser corrigido. O erro é insignificante na maioria das vezes, quando a declividade do terreno é inferior a 10° . A correção trigonométrica se efetua com a expressão

$$H = h \cdot \cos \alpha$$

onde: H = altura real corrigida
 h = altura medida
 α = pendente do terreno.

5.4.5 Relascópio de Bitterlich

A primeira banda a esquerda do relascópio corresponde a escala de tangentes ou de distância de 20 metros, e as escalas de tangentes de 25 e 30 metros estão localizadas entre as banda de numeração "1" e "2" (Figura 57). Para efetuar leituras a partir de uma distância de 15 m, estas deverão ser realizadas na escala de 30 m, dividindo o resultado por 2. A escala a ser utilizada segue os mesmos princípios dos hipsômetros de Haga e Blume Leiss.

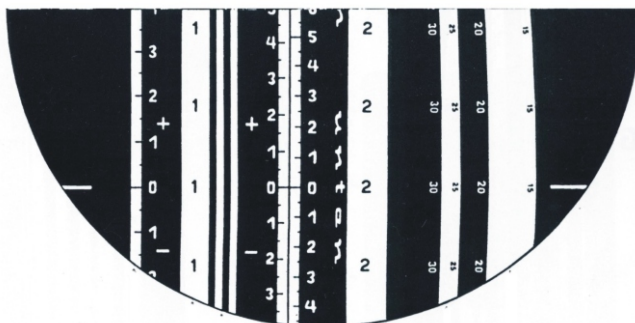


Figura 57. Escalas do Relascópio

Para a determinação da altura, se devem realizar necessariamente duas leituras, uma relativa ao ápice da árvore e a outra à base da árvore. Se ambas leituras se situam em diferentes lados da escala considerada, seus valores se somam. Se situam num mesmo lado, seus valores se subtraem, a fim de encontrar a altura procurada. A leitura só será válida, quando se produz na linha de visada ou horizonte de visão após correspondente liberação da oscilação das escalas.

5.4.6 Clinômetro de Abney

Instrumento utilizado em trabalhos de topografia, destinado a medir ângulos verticais. O instrumento também é conhecido como Nível de Abney, e traz dois semi-círculos graduados: um em ângulos e um outro em percentagem.

Pode ser usado para medir a altura uma vez que permite medir ângulos verticais, através da $\tan \alpha$ dos ângulos de visada para visualizar o topo e a base. Conhecendo-se a distância reduzida, é possível calcular a altura da árvore, pela expressão:

$$H = L_1 - L_2$$
$$L_1 = L \cdot \tan \alpha \quad \text{e} \quad L_2 = L \cdot \tan \beta$$

onde: H = altura e L = distância reduzida.

Caso a leitura seja feita na escala de %, a fórmula será:

$$H = \frac{L}{100} (\tan \alpha - \tan \beta)$$

5.4.7 Teodolito

Instrumento que fornece altíssima precisão de leitura é usado normalmente em trabalhos de topografia. Com o teodolito é possível obter ângulos horizontais e verticais assim como medidas de distância. Os teodolitos de última geração vêm com procedimentos de leitura a base de raios laser, tornando-o ainda mais preciso. Para determinar a altura de árvores é possível utilizar o teodolito no mesmo princípio dos clinômetros.



Figura 58. Teodolito de última geração

5.5 Erros de medição

Quando se mede a variável altura, geralmente a precisão não é absoluta. Segundo o ponto de medida e o instrumento que é utilizado, os valores medidos variam normalmente entre 1 metro e 10 centímetros de aproximação. Para alcançar maior precisão requer-se considerar o fator tempo e experiência do operador, e do instrumento específico.

Ao medir uma árvore em pé, pressupõe-se que esta fica em posição perpendicular ao chão. Mais isso nem sempre acontece e dependendo do ângulo de visão, a altura poderá estar sub ou superestimada do seu valor real. Outra fonte de erro é a falta de visibilidade do ápice da árvore, especialmente em árvores de copas largas e em povoamentos densos. O erro nas medições diretas situa-se em média em torno de até 10% do valor real.

Outros erros provêm do manuseio dos próprios instrumentos, da distância do observador à árvore, do balanceamento das copas e a inclinação ou posicionamento da própria árvore. Estes erros podem ser classificados de forma semelhante aos erros da variável diâmetro.

5.5.1 Correção para a declividade

Conforme foi demonstrado, necessita-se da distância horizontal e não da distância inclinada para que a altura seja determinada corretamente. Considerando-se o caso de terrenos declivosos, a distância do observador à árvore será a distância inclinada e não a reduzida, o que ocasionará erro no cálculo da altura. Para contornar esse problema, o dendrometrista dispõe da possibilidade de determinar a distância inclinada que corresponda à distância reduzida para qual se deseja fazer a medição de altura. Por exemplo, suponha que o mensurador deseje medir a árvore na escala de 20 metros do aparelho. Portanto, ele deveria estar a uma distância reduzida de 20 metros da árvore. Medindo a declividade do terreno e determinando o ângulo de inclinação, pode-se determinar a distância inclinada correspondente à distância reduzida de 20m. Para isso, deve-se utilizar a seguinte relação trigonométrica:

$$\text{Cos}(\alpha) = \text{DR}/\text{DI} \qquad \text{DI} = \text{DR}/\text{cos}(\alpha)$$

em que α = ângulo corresponde à declividade do terreno;

DI = distância inclinada;

DR = distância reduzida.

Assim, supondo uma distância reduzida de 20m e um ângulo $\alpha = 15^\circ$, tem-se:

$$DI = 20/\cos(15)$$

$$DI = 20,71 \text{ m}$$

ou seja, para que a leitura seja feita corretamente, o mensurador deve se situar a uma distância inclinada (DI) igual a 20,71 metros da árvore.

Outra forma de corrigir o efeito da declividade, conforme citado por Campos (1983), é através da seguinte relação:

$$H_c = H_l (H_l \times \text{fator})$$

em que H_c = altura corrigida;

H_l = altura lida pelos hipsômetros de Haga ou Blume-Leiss;

fator = sen^2 do ângulo de inclinação do terreno.

5.6 Estrutura vertical da floresta

Dentre as razões pelas quais se obtém alturas médias para o povoamento, as seguintes podem ser citadas:

- a) classificação de sítio do povoamento;
- b) cálculo do volume;
- c) determinação da produção;
- d) pesquisa dendro e dasométrica.

Efetuada trabalhos dasométricos em princípios silviculturais e de manejo florestal em florestas ordenadas, determina-se quase que exclusivamente a altura comercial e nesse sentido se faz necessário identificar as classes de qualidade da variável altura comercial.

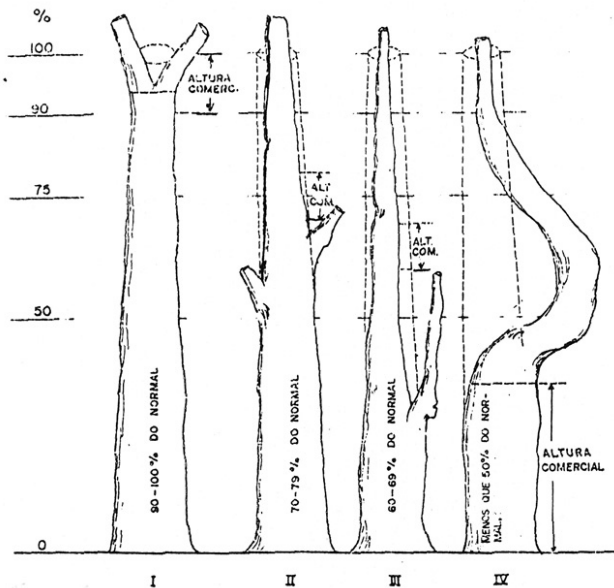


Figura 59. Classes de qualidade da altura comercial

Em termos gerais, os fustes são classificados em quatro classes de qualidade da altura comercial, como se mostra na Figura 59. Observe-se que existe um elevado percentual, considerado como desperdício aparente quando se efetua o processo de corte e exploração comercial. Para fins de manejo florestal as alturas devem ser interpretadas no seu valor central, e assim a literatura registra as seguintes alturas médias.

Altura Média Aritmética (\bar{h})

É a altura média aritmética de todas as árvores do povoamento

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} \Rightarrow \bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$$

Das alturas médias, é a de menor valor. Na prática é utilizada para o cálculo do volume do povoamento. Também é empregada para fins

de estatística biológica, e em povoamentos jovens.

Altura média de Lorey (h_L)

Desenvolvida em 1878, é calculada através da fórmula:

$$h_L = \frac{g_1 h_1 + g_2 h_2 + \dots + g_n h_n}{g_1 + g_2 + \dots + g_n} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i h_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$$

em que: h_i = altura da árvore i ;
 g_i = área basal da árvore i .

Para dados agrupados em classes, tem-se:

$$h_L = \frac{f_1 g_1 h_1 + f_2 g_2 h_2 + \dots + f_n g_n h_n}{f_1 g_1 + f_2 g_2 + \dots + f_n g_n} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i g_i h_i}{\sum_{i=1}^n f_i g_i}$$

em que: f_i = número de árvores por classe de diâmetro;
 g_i = área basal do centro da classe;
 h_i = altura média da classe;
 i = número de classes.

A altura de Lorey é a altura média ponderada com as áreas basais das classes.

Altura Dominante

Corresponde a altura média das árvores mais altas do povoamento.

Suas características são:

- independente da densidade;
- facilmente obtida no povoamento;
- apresenta forte significado biológico, pois representa o povoamento em toda sua vida;
- não é representativa para povoamentos multiêneos (devido a idade).

Altura Dominante de Assmann (h_{100})

Corresponde à altura média aritmética das 100 árvores de maior diâmetro por hectare. É utilizada para determinar a capacidade de sítio. Pode-se utilizar a relação hipsométrica para se obter a altura dominante.

Altura Dominante de Weise (h_0)

É definida como a altura de área basal média correspondente a 20% das árvores de maior diâmetro do povoamento. Pode também ser determinada como a altura média das árvores correspondentes a 8% do número total de árvores a partir da mais grossa.

5.6.1 Classes de altura da regeneração natural

Os indivíduos jovens de um povoamento formam a estrutura da regeneração natural num processo biológico de equilíbrio natural. Normalmente a regeneração natural está composta por algumas centenas até milhares de indivíduos distribuídos em áreas relativamente pequenas.

Esses indivíduos, para fins da mensuração florestal, são classificados em classes de altura, normalmente em intervalos de 50 centímetros, assim ter-se-á classe A de 0 - 0,50 m de altura, classe B de 50 cm a 1 m de altura e assim sucessivamente, até a classe com altura superior a 2 m e DAP inferior a 5 cm.

Nos trabalhos dendrométricos, os indivíduos desses intervalos serão medidos por réguas cuja escala está identificada em classes de altura, cujos intervalos normalmente estão pintados por cores fortes para melhor visualizar a classe correspondente.

5.7 Prova de numeração angular vertical

O pesquisador japonês Dr. Hirata apresentou em 1955 o procedimento de seleção de árvores pela sua altura, a partir de um ponto fixo no povoamento, seguindo a descrição metodológica da parcela de área variável ou parcela de Bitterlich (Prodan *et al* 1997). Esse procedimento é conhecido na literatura como “altura de Hirata”. O autor utiliza um ângulo fixo em posição vertical e nesse sentido são selecionadas as árvores que ingressam na parcela.

Esta metodologia foi alterada por Strand em 1957, aplicando o ângulo vertical desde uma linha de amostragem. A literatura registra trabalhos desenvolvidos nestas metodologias apenas em nível de pesquisa, não existindo ainda experiências de uso em grandes áreas.

6. RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS

As árvores apresentam características intrínsecas de crescimento e de relação dasométrica entre as diversas variáveis dendrométricas. A variável altura reage sensivelmente à luz e em consequência aos métodos silviculturais e de manejo florestal. A relação matemática entre as variáveis dendrométricas altura e diâmetro de uma árvore é denominada de relação hipsométrica. A determinação da altura de uma árvore em função de seu DAP, em várias circunstâncias será a única possibilidade de poder definir a correspondente estrutura vertical do povoamento. A partir de uma amostra de dados de diâmetro e altura, é possível estabelecer uma relação matemática que permita estimar as alturas restantes da amostra e em consequência da população, significando um grande ganho prático na realização de inventários florestais. Em populações com árvores de grande porte, a variável altura é difícil de ser mensurada, elevando muito o tempo e o custo da coleta dos dados do inventário, podendo também aumentar a margem de erro na coleta dessa informação.

A determinação das alturas das árvores por meio de instrumentos é uma operação onerosa e sujeita a erros. Deste modo, é comum em levantamentos dasométricos, medir a altura de algumas árvores localizadas em parcelas de amostragem e, empregando a relação hipsométrica, estimar a altura das demais árvores. Com as alturas estimadas das árvores, juntamente com seus respectivos diâmetros, é possível, empregando-se equações de volume, estimar o volume de cada árvore e conseqüentemente o volume da parcela e do povoamento. A literatura registra uma série bastante complexa de modelos matemáticos para interpretar a relação hipsométrica. Dependendo da espécie e do sítio será escolhida a equação matemática mais apropriada. Entre os modelos mais utilizados estão os seguintes:

$H = b_0 + b_1 / D^2 +$	Assman, 1952
$H = b_0 + b_1 \cdot \log D +$	Herincksen, 1950
$\log H = b_0 + b_1 \cdot \log D +$	Stofells, 1953
$\log H = b_0 + b_1 / D +$	Curtis, 1967
$\ln H = b_0 + b_1 / D^2 +$	
$H = b_0 + b_1 / D +$	
$H = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 +$	

Para ilustrar a aplicação de relações hipsométricas, é proposto o seguinte exemplo: num povoamento de *Eucalyptus grandis*, foi realizado um inventário onde se mediu oito parcelas de amostragem. Em cada parcela foram medidas as alturas das dez primeiras árvores e os respectivos diâmetros à altura do peito (DAP). Os dados estão apresentados no Quadro 5. Para as demais árvores da parcela, mediu-se apenas o DAP. Assim, faz-se necessário determinar a relação hipsométrica para estimar as alturas das árvores que não tiveram suas alturas medidas.

Quadro 5. Dados de DAP e altura de 80 árvores para obtenção da relação hipsométrica

Diâmetro (cm)	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Altura (m)
6.68	9.00	13.37	14.00	10.82	14.00
8.28	10.00	10.50	11.00	17.19	17.00
13.37	13.00	6.68	8.00	15.28	18.00
8.91	10.00	8.28	11.00	9.55	15.00
9.23	12.00	11.46	14.00	11.14	14.00
9.55	12.00	11.14	13.00	10.50	17.00
5.73	8.00	12.41	14.00	13.69	16.00
9.23	10.00	10.50	14.00	6.05	11.00
5.09	8.00	13.05	15.00	8.59	13.00
10.82	11.00	9.87	12.00	17.19	17.00
6.37	7.00	6.68	9.00	11.78	15.50
6.05	8.00	12.73	15.00	10.82	14.00
12.41	12.00	15.60	16.00	11.14	15.00
8.28	10.00	11.46	14.00	14.01	16.50
12.41	14.00	7.32	11.00	13.37	14.50
8.59	13.00	9.55	13.00	11.14	13.50
8.59	14.00	17.19	18.00	7.64	10.50
7.00	10.00	5.09	8.00	15.28	17.00
12.10	15.00	5.09	9.00	13.05	15.00
7.00	13.00	22.60	18.00	14.32	16.00
7.00	11.00	10.19	12.00	6.05	9.00
10.82	13.00	5.41	7.00	8.28	12.00
10.50	13.00	14.64	17.00	17.51	21.50
11.14	14.00	11.46	14.00	14.32	21.50
9.23	11.00	11.14	13.00	14.96	17.00
9.87	12.00	14.64	16.00	20.69	20.00
10.50	13.00	7.00	9.00		

É importante ressaltar que o uso da relação hipsométrica torna o inventário florestal mais operacional e com menor custo. O número de árvores amostradas para definir a relação hipsométrica depende de uma série de fatores, como o total de parcelas amostradas, a homogeneidade do povoamento, a idade, o sítio, dentre outros. Estes fatores poderão afetar diferentemente a relação hipsométrica, podendo exigir mais ou menos árvores amostradas.

Para a solução do problema proposto no exemplo, tomou-se os pares de diâmetro e altura apresentados no Quadro 5, e ajustou-se a seguinte equação de regressão:

$$\hat{h} = 1,102202 + 1,442235^{**} DAP - 0,027303^{**} DAP^2$$

$$R^2 = 79,85; \quad s_{yx} = 1,55 \text{ m} \quad \text{e} \quad CV = 11,00 \%$$

significativo em nível de 5 % de probabilidade pelo teste t,

\hat{h} = altura estimada, em metros;

DAP = diâmetro a altura do peito, em cm;

R^2 = coeficiente de determinação;

s_{yx} = erro padrão residual;

CV = coeficiente de variação.

A equação ajustada descreve conseqüentemente as variações da altura em função do diâmetro. De acordo com os valores de s_{yx} e CV , pode-se observar que as estimativas de altura obtidas pela equação proposta erram, em média, $\pm 1,55$ m ou $\pm 14,55$ %, respectivamente, e que aproximadamente 79 % das variações ocorridas na variável altura são explicadas pelo variável diâmetro. A Figura 60 mostra a curva estimada de altura e os pontos observados, revelando a tendência da variação da altura em função do diâmetro, também mostra a distribuição dos erros em relação ao DAP , podendo-se observar a ausência de tendências na obtenção de estimativas de altura, o que é desejável.

A análise da precisão das estimativas obtidas pela relação hipsométrica é muito importante para a realização de inventários florestais. O modelo utilizado no exemplo apresentou uma boa precisão para relações hipsométricas, outros modelos poderão ser testados na busca de estimativas mais precisas.

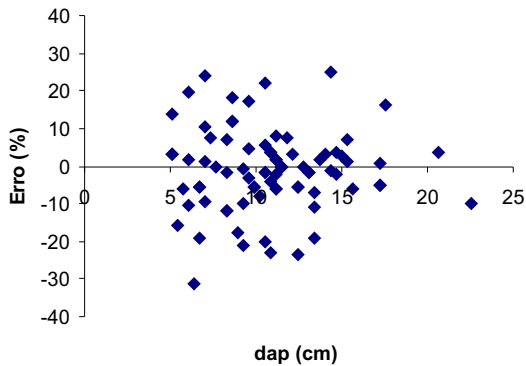
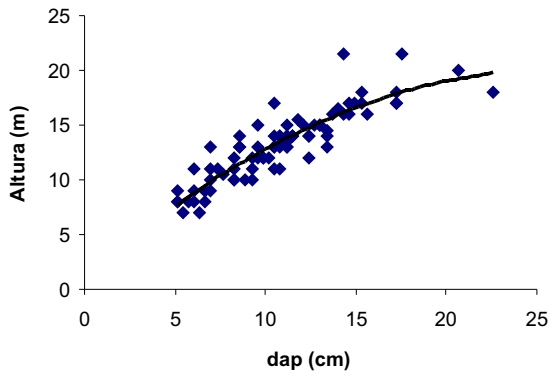


Figura 60- Curva ajustada dos dados de DAP e altura, e a correspondente distribuição dos resíduos em percentagem para a relação hipsométrica representada pela equação.

Pela equação ajustada pode ser utilizada para estimar as alturas das demais árvores da parcela que não tiveram suas alturas medidas.

6.1 - Fatores que afetam a relação hipsométrica

Existem vários fatores que afetam diretamente a relação hipsométrica. Estes fatores têm sido estudados ao longo do tempo e são tratados em diversas literaturas, dentre as quais pode-se citar Loetsch *et al.* (1973), Finger (1992), Scolforo (1993). A seguir serão apresentados os principais fatores e a maneira como eles afetam a relação hipsométrica.

Idade

Em idades mais jovens, o crescimento em altura das árvores é mais acentuado, o que não ocorre quando as árvores atingem a fase adulta. Baseado nisso, não é difícil perceber a influência da idade nas relações hipsométricas, ou seja, em árvores mais jovens espera-se curvas mais íngremes, ocorrendo o contrário para relações hipsométricas em árvores adultas. A influência da idade não deve ser desprezada ao se utilizar relações hipsométricas. Em floresta de rápido crescimento, para inventários sucessivos, não se deve utilizar a mesma relação, mas sim refazê-la a partir de novos dados. À medida que a idade aumenta e as árvores atingem a fase adulta as diferenças entre as curvas tendem a diminuir gradativamente, pois uma vez que a árvore atinge o seu clímax, tanto o crescimento em diâmetro quanto em altura serão reduzidos fazendo com que as mudanças na relação hipsométrica sejam pequenas.

Sítio

Assim como a idade, o sítio também influencia as relações de crescimento, ou seja, em locais mais produtivos a inclinação da curva h/d é mais acentuada do que em locais menos produtivos, conforme mostra a Figura 3. Assim, povoamentos jovens em sítios bons mostram uma curva de altura íngreme, enquanto que em situação contrária as curvas são mais achatadas.

Posição Sociológica

Também a posição sociológica é um fator que determina ritmos de crescimento em altura diferentes para as árvores. Conforme citado por Finger (1992), essa diferenciação, em florestas equiâneas, inicia-se quando o povoamento atinge o ponto de entrelaçamento de

copas e aumenta com o desenvolvimento das árvores (aumento da competição). Deste modo, quando a floresta tem seus estratos sociológicos bem definidos, as árvores pertencentes ao estrato dominante tendem a apresentar um menor ritmo de crescimento em relação as demais árvores. Em razão disso, para árvores dominantes, espera-se uma relação h/d menor que para árvores dominadas. importante lembrar que a altura é pouco afetada pelo espaçamento para árvores dominantes, o que não ocorre com as árvores dominadas, já que para estas árvores a influencia do espaçamento no desenvolvimento da altura é bastante acentuada. Por outro lado, a variável diâmetro, independentemente do estrato, é bastante afetada pelo espaçamento. Assim, para uma condição de maior competição, a razão h/d tende a ser maior do que quando a concorrência é mais baixa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BITTERLICH, W. The realascope idea, relative measurements in forestry. Slough, England: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1984. 242p.
- BITTERLICH, W. Relascopio de espejo. Trad. José Imaña Encinas. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1994. 21p. (Coleção Textos Universitários)
- BRUCE, D.; SCHUMACHER, F.X. Forest mensuration. 3ed. New York: McGraw-Hill, 1950. 483p.
- CAMPOS, J.C.Ch. Dendrometria, I parte. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Escola Superior de Florestas, 1983. 43p.
- CHAPMAN, H.H.; MEYER, W.H. Forest mensuration. New York: McGraw-Hill, 1949. 522p.
- COUTO, H.T.Z. do; FERRARI, M.P. O hipsômetro do IPEF/CEF-ESALQ. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, São Paulo, 1979. 5p. (Circular Técnica, 53)
- FERREIRA de SOUZA, P. Terminologia florestal, glossário de termos e expressões florestais. Guanabara: 1973. 304p.
- FINGER, C.A.G. Fundamentos de biometria florestal. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Pesquisas Florestais, 1992. 269p.
- GOMES, A.M.de A. Medição dos arvoredos. Lisboa: Sá da Costa, 1957. 413p.
- IMAÑA-ENCINAS, J. Medición del DAP en terrenos inclinados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.27, n.8, p.1113-1116. 1992
- IMAÑA-ENCINAS, J. Dasometria práctica. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1998. 117p (Coleção Textos Universitários)
- IMAÑA-ENCINAS, J. Medições de crescimento com o Dial-Dendro. Silvicultura, v.15, n.55, p.22-23. 1994

- LOETSCH, F.; HALLER, K.E. Forest inventory. v.1. statistics of forest inventory and information from aerial photographs. München (Alemanha): BLV, 1973. 436p.
- MACKAY, E. Dasometria, teoria y técnicas de las mediciones forestales. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, 1964. 759p.
- MALLEUX, J. Estratificación forestal com uso de fotografias aéreas. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento de Manejo Forestal, 1971. 82p.
- MULLER, A.C. Dendrometria prática. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Curso de Engenharia Florestal, 1972. 25p.
- PRODAN, M. Holzmesslehre. Frankfurt a.M. (Alemanha): Sauerlaender's Verlag, 1965. 644p.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. Mensura forestal. San José (Costa Rica): IICA/GTZ, 1997. 586p.
- SCOLFORO 1993
- SILVA, J.A.A.da; PAULA NETO, F. de. Principios de dendrometria. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Curso de Engenharia Florestal, 1979. 185p.
- VEIGA, A.de A. Curso de atualização florestal. 3ed. São Paulo, Instituto Florestal, 1976. 341p. (Publicação I.F., 8)
- YOUNG, H.E.; TRYON, Th.C. A national forest biomass inventory. Burarest (Rumania): IUFRO Proceedings, 1978

Índice

	Página
Altura	71
Altura dominante	90
Altura média aritmética	89
Altura média de Lorey	90
Área basal	56
Área de laminado	69
Árvore dendrométrica	27
Barra de Bitterlich	57
Bússolas	24
CAP	34
Classes diamétricas	47
Clinômetro Abney	21,85
Clinômetro Suunto	82
Componentes da árvore	30,31
DAP	34
DAP em terrenos inclinados	36
Dasometria	01,02
Declividade	21,87
Dendrometria	01,03
Dial-Dendro	49
Diâmetro de copa	52
Diâmetros convencionais	36
Distâncias	11,12
Distribuição espacial	26
Erros de medição	09,87
Escalas	06,08
Exatidão	10
Fatores de conversão	05
Fita diamétrica	38
Fita métrica	15,38
Formas da árvore	28
Garfo diamétrico	48
Hipsômetro Blume Leiss	81
Hipsômetro de Christen	77
Hipsômetro de Merrit	75
Hipsômetro de Weise	81
Hipsômetro Haga	80
Medidor de diâmetro de copa	54,55
Medidor de distância ultra-som	19
Medidores de casca	37
Método da vara	74

Método das sombras	73
Método de superposição de ângulos	74
Método dos passos	15
Parcela de área variável	59,62
Pentaprisma	22
Pentaprisma de Wheeler	46
Planímetro	70
Ponto de medida do DAP	35
Pontos cardeais	23
Pontos de medição de altura	71
Precisão	10
Princípio de Bitterlich	57
Prisma basimétrico	67
Régua Biltmore	41
Reguas madeireiras	50
Relações geométricas	20,72
Relações hipsométricas	93
Relações trigonométricas	14,20
Relascópio de Bitterlich	45,65
Roda métrica	15
Silvimetria	01
Sistema de medidas	03
Suta	39
Suta de tarifa de Bitterlich	43
Suta finlandesa	44
Telêmetro	17
Teodolito	86
Tubo basimétrico de Panamá	66

Equipe Técnica

Autor Principal

José Imaña Encinas

Co-autores

Gilson Fernandes da Silva

Iuri Ticchetti Kishi

Desenvolvimento do Autorun e Elaboração da Etiqueta do CD

Danilo Cruz de Lima

Revisão de Textos

Ricardo Campos da Nóbrega

Luciana de Paiva Luques

Victor Singh

Antônio Tolentino Piáu

Christina Cleo Vinson

Eugênio Pio Costa