

Técnicas e instrumentos de medição de árvores

A técnica de medição de árvores individualmente é denominada de dendrometria, palavra derivada dos vocábulos gregos *dendron* e *metria*, que significam, respectivamente, árvore e mensuração. A dendrometria, portanto, refere-se ao estudo das dimensões das árvores e objetiva, basicamente, determinar o volume florestal e, portanto, prognosticar com confiança o estoque e o incremento florestal.

Existem duas maneiras para realizar as medições das árvores individualmente, as medidas diretas e as medidas indiretas. Na medição direta as dimensões da árvore são tomadas/medidas diretamente sobre a árvore, ao alcance do mensurador. Por outro lado, as medições indiretas são medições que dependem do uso de métodos óticos e/ou de instrumentos específicos para determinar a grandeza a ser mensurada.

As variáveis dendrométricas mais importantes para o inventário florestal compreendem o diâmetro a altura do peito (DAP), a altura total e o fator de forma. O DAP é uma medida do diâmetro da árvore a 1,30 metros de altura em relação ao nível do solo; a altura total é o comprimento da árvore ou do seu fuste/tronco; e o fator de forma expressa o afinamento do fuste ao longo de seu comprimento, i.é, indica quanto o diâmetro de uma árvore diminui ao longo da sua altura.

Diâmetro a altura do peito (Diameter at Breast Height/DBH, em inglês)

O diâmetro (DAP) é considerado uma variável dendrométrica muito importante em trabalhos florestais. Sempre que possível a medição do DAP de uma árvore em pé deve ser realizada a 1,30m de altura. Esse ponto de medição dá agilidade ao trabalho de campo, facilita o manuseio de instrumentos de medição e diminui o risco de problemas ergonômicos ao mensurador, sendo uma forma de padronização mundial da altura de tomada da medida.

Instrumentos utilizados para medir o diâmetro de árvores

Suta

A Suta consiste de uma régua graduada conectada a dois braços perpendiculares, sendo um fixo e o outro móvel. O braço fixo fica em uma das extremidades e a sua posição coincide com o zero da escala. Estando os braços juntos, ao deslocar o braço móvel na direção

oposta ao braço fixo o mesmo afasta-se do zero e promove uma abertura que encaixada no ponto de medição reflete o diâmetro da árvore que está sendo medida, na altura da medida.

Para a correta medição do diâmetro das árvores é importante que a Suta esteja em posição perpendicular ao eixo do fuste da árvore.



Suta digital

Fita Métrica e Fita Diamétrica

A Fita Métrica é utilizada para a medição da circunferência da árvore. Neste caso, o diâmetro é obtido pelo desenvolvimento da seguinte relação matemática:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

DAP é o diâmetro a altura do peito, CAP a circunferência a altura do peito e π é a proporção numérica originada da relação entre as grandezas do perímetro de uma circunferência e o seu diâmetro, cujo valor é aproximadamente 3,141592...

As vantagens no uso da Fita Métrica relacionam-se ao seu baixo custo e às facilidades de aquisição, manuseio e transporte no campo. Porém, geralmente as Fitas Métricas disponíveis no mercado dilatam com o calor e são facilmente esticadas com a força do mensurador, podendo-se superestimar o valor da circunferência medida.

Para contornar este inconveniente há no mercado as chamadas Fitas Diamétricas. Essas fitas são construídas com lâmina em aço ou em material sintético, menos sujeito a variações em razão da temperatura ambiente ou da força do operador. Essas fitas vêm graduadas em escala de diâmetro, eliminando-se a necessidade de conversões.

Outros instrumentos utilizados para a medição do diâmetro

Alguns outros instrumentos também são utilizados para a medição dos diâmetros das árvores. Informações sobre eles são facilmente conseguidas por uma busca simples na internet. Como exemplo destacam-se a Régua de Biltmore e o Garfo Diamétrico.

Altura (Height/H, em inglês)

A medição da altura de uma árvore é muito importante para a classificação da qualidade do sítio (local), para as estimativas volumétricas e para o ajuste de modelos hipsométricos e alométricos. Conhecer a altura de uma árvore ou das árvores da floresta auxilia no ordenamento da produção, haja vista que muitas tabelas de produção, bem como alguns tipos de modelos de crescimento para florestas relacionam-se à variável altura.

É importante destacar que a medição da altura de uma árvore exige o uso de algum instrumento auxiliar, pois o ponto de medição nem sempre está acessível ao mensurador. Como exemplo desses instrumentos cita-se o Clinômetro Eletrônico, Nível de Abney, Prancheta Dendrométrica e hipsômetros Haga e Blume-leiss.

Classificação da altura das árvores

Uma árvore pode apresentar diferentes tipos de alturas, que são definidos ou classificados em razão dos objetivos das medições e do uso dos valores mensurados. São eles:

- Altura total: refere-se à distância da base da árvore até o seu topo.
- Altura comercial: é relativa à parte do fuste com valor comercial, ou seja, é a porção utilizável do tronco. Esta porção pode ser determinada pela presença de bifurcação, pela presença de galhos grandes ou grossos, pela presença de tortuosidades, pela forma irregular ou por defeitos no fuste, ou ainda por um diâmetro mínimo utilizável, por exemplo, 5cm.
- Altura do fuste: é a distância entre a base da árvore e o início da copa. Em certas circunstâncias coincide com a altura comercial.
- Altura da copa: é a altura total da árvore subtraída a altura do fuste, ou seja, refere-se ao comprimento da copa.

Mensuração da altura de uma árvore

A medição da altura de uma árvore pode ser feita de diferentes maneiras. Podem ser tomadas medidas com o uso de uma vara graduada, ou seja, faz-se uma medição diretamente sobre a árvore. Entretanto, é mais usual fazer estimativas da altura utilizando-se de instrumentos adequados e apropriados para isso, denominados hipsômetros.

Os hipsômetros podem ser baseados em princípios geométricos (relação entre triângulos) ou trigonométricos (relação entre ângulos e distâncias).

Os instrumentos que usam o princípio trigonométrico são os mais utilizados na atividade florestal, principalmente, por serem fáceis de manusear e precisos nas suas estimativas.

Entre os principais hipsômetros utilizados nas medições de altura de árvores encontram-se o Nível de Abney, o Blume-Leiss, o Clinômetro eletrônico e o Vertex.

Para mensurar corretamente a altura de uma árvore os seguintes aspectos devem ser levados em consideração, pois são fontes de erro por atrapalharem as medições:

- Dificuldade de visualização do topo da árvore.
- Dificuldade de encontrar uma distância horizontal conveniente e apropriada à medição da altura.
- Tempo gasto com as medições.
- Ocorrência de sub-bosque na floresta.
- Definição da altura comercial.

Relações hipsométricas

A relação hipsométrica é definida pela proporcionalidade existente entre as alturas das árvores e os seus diâmetros. Em geral a altura é forte e positivamente correlacionada ao diâmetro e estas duas variáveis também se relacionam positivamente e fortemente com o volume (m^3).

A relação hipsométrica é utilizada nas estimativas de altura das árvores em razão dos seus diâmetros. Geralmente essas relações são definidas por meio de regressão linear simples, mas outras regressões podem ser ajustadas, sendo elas simples ou múltiplas, lineares ou não-lineares.

Os modelos e as equações hipsométricos são úteis e importantes em Inventários Florestais porque geralmente as alturas são mais difíceis para serem medidas e demandam mais tempo para a sua determinação no campo, o que pode encarecer o Inventário Florestal.

O uso de equações hipsométricas reduz os custos do Inventário Florestal, os riscos de acidentes, a mão-de-obra no campo e permite estimativas fidedignas da altura das árvores na floresta ou fora da floresta.

Para realizar o ajuste de um modelo hipsométrico e gerar uma equação de regressão relacionando os diâmetros às alturas é necessário primeiramente medir o DAP e a altura de

algumas árvores, considerando uma amostra significativamente representativa da população (ver amostra representativa no capítulo referente à teoria de amostragem).

Com o modelo ajustado, constrói-se a equação e utiliza-a para estimar a altura das demais árvores da floresta que tiveram somente os DAP's mensurados. Dessa forma, mede-se o DAP de uma quantidade maior de árvores ou de todas as árvores na unidade amostral e a altura de apenas uma parte dessas árvores, o que diminui o tempo do inventário e consequentemente os seus custos.

Um modelo hipsométrico clássico é a equação geral da reta, ou seja:

$$Y = a + bX$$

Onde, Y é a variável dependente, X a variável independente e a e b os parâmetros do modelo, sendo a o ponto de passagem da reta no eixo Y quando X é igual a zero e b a inclinação da reta, ou seja, a taxa de mudança em Y a cada acréscimo de uma unidade em X .

Na dendrometria, pode-se substituir o Y pela altura (representada por H-height) e o X pelo DAP. Portanto, o modelo fica expresso da seguinte forma:

$$H = a + bDAP + \varepsilon$$

As estimativas dos parâmetros a e b podem ser obtidas pelo Método dos Mínimos Quadrados, como demonstrado abaixo:

$$a = \bar{H} - b\overline{DAP} \quad ; \quad b = \frac{\sum DAP.H - \frac{\sum DAP \sum H}{n}}{\sum DAP^2 - \frac{(\sum DAP)^2}{n}}$$

Neste caso, n é o tamanho da amostra, isto é, a quantidade de árvores que tiveram as alturas e os DAP's medidos (os pares de dados do modelo). Os valores de DAP devem estar em centímetros e os de altura devem estar em metros, ou seja, da forma como foram obtidos no campo; \bar{H} é a altura média das árvores; \overline{DAP} é o diâmetro médio (DAP); e ε o erro aleatório ou resíduo, a diferença entre os valores reais das alturas medidas e os valores das alturas estimadas pelo modelo.

Com os parâmetros a e b estimados, deve-se substituí-los no modelo e, assim, montar a equação que vai ser utilizada para estimar as alturas das árvores que tiveram somente os DAPs mensurados.

Para saber mais sobre modelos hipsométricos consulte Hosokawa (1998), Soares et al (2007), Zar (2010) e Coker (2012).

Exemplo de ajuste de um modelo hipsométrico

Deseja-se estimar a altura de 50 árvores em uma floresta a partir de uma relação hipsométrica obtida pela mensuração do DAP e da altura de dez dessas 50 árvores. A Tabela abaixo apresenta os pares de DAP e altura (H) das dez árvores medidas.

Árvore	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DAP	10	12	13	11	9	10	15	12	10	14
H	18	22	23	19	16	17	26	22	18	24

A dispersão dos pares de DAP *versus* altura em dois eixos cartesianos segue conforme a Figura 1.

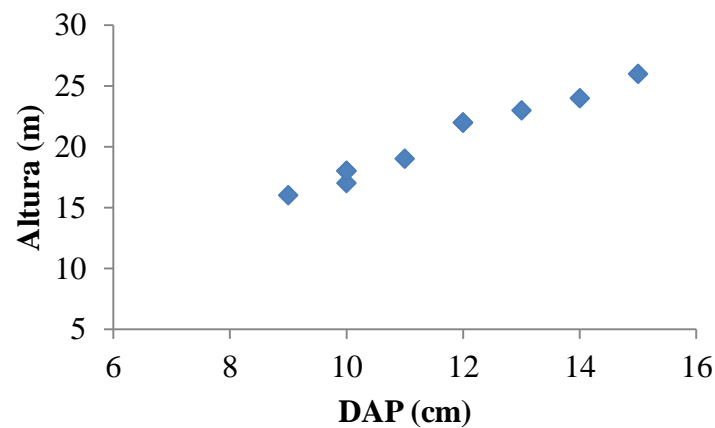


Figura 1. Dispersão das alturas em razão dos diâmetros a altura do peito (DAP) de dez árvores-exemplo

A análise da Figura X permite verificar que há uma tendência de aumento nas alturas na medida em que os DAP's das árvores são maiores, i.é. árvores mais altas aparentemente apresentam também os maiores diâmetros. Essa tendência segue uma relação linear, conforme pode ser visto pelo ajuste de uma reta ligando os pontos do gráfico (Figura 2).

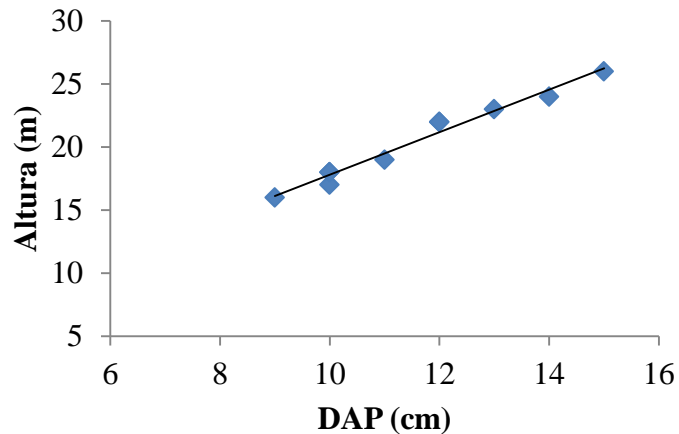


Figura 2. Ajuste de uma reta entre os pares de DAP e altura das dez árvores-exemplo

A reta ajustada aos pontos representa a seguinte função linear:

$$H = 0,9419 + 1,686.DAP$$

Após o ajuste do modelo, deve-se decidir se a equação é confiável para estimar as demais alturas em razão dos DAPs das árvores. Isso é feito avaliando-se o coeficiente de determinação da reta (R^2), que expressa de forma prática quanto a relação entre as alturas e os DAP's é explicada pela reta ajustada: varia de 0 a 1,0 e quanto mais próximo de 1,0 mais precisa e melhor é a equação. Valores abaixo de 0,8 podem representar baixa relação entre as variáveis, ou seja, a equação não é confiável nas estimativas. O R^2 é obtido pelo quadrado do coeficiente de correlação linear de Pearson (r) entre as duas variáveis (Zar, 2010) ou pela razão entre a soma de quadrados residual ($SQ_{res.}$) pela soma de quadrados total (SQ_{total}).

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_{res.}}{SQ_{total}}$$

O coeficiente de determinação do ajuste (R^2) da equação ajustada para as árvores-exemplo é igual a 0,973, indicando uma boa equação, por este critério de avaliação.

Um segundo critério de avaliação de uma equação de regressão é a distribuição gráfica dos resíduos. Os resíduos devem estar distribuídos uniformemente e o mais próximos de zero possível. Os resíduos indicam a diferença entre os valores medidos nas árvores e os valores estimados pela equação gerada pelo modelo ajustado.

Note que ao considerar uma equação confiável para estimar as alturas em razão dos DAP's, assume-se que os valores fornecidos pela equação são os mais próximos possíveis dos valores reais. Porém, a única forma de saber o quanto os valores estimados pela equação se distanciam dos valores reais é aplicando à equação os valores de DAP das árvores que foram medidas em DAP e em altura, ou seja, insere-se na equação o DAP das árvores cujas alturas

são conhecidas e verifica-se o quanto que as alturas estimadas pela equação são diferentes dos valores de alturas medidos. A diferença entre os valores conhecidos/medidos das alturas e os valores estimados pela equação são chamados de resíduos.

A equação ajustada para as árvores-exemplo forneceu a distribuição gráfica dos resíduos mostrada na Figura 3.

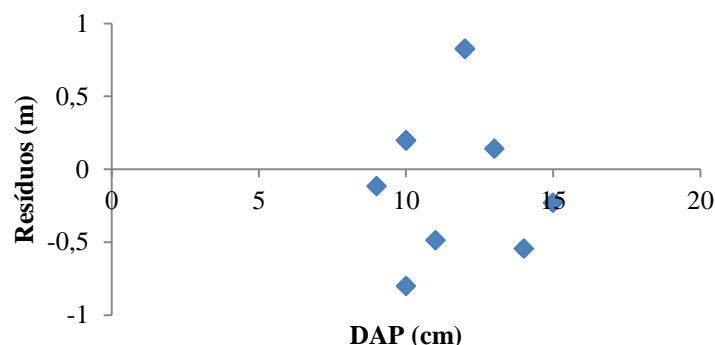


Figura 3. Distribuição gráfica dos resíduos referentes ao ajuste de uma equação linear para as árvores-exemplo

Os resíduos podem ser melhor visualizados comparando-se diretamente os valores de altura medidos no campo com os valores de altura estimados pela equação. A Tabela abaixo ilustra essas diferenças e mostra que, para o exemplo em questão, os resíduos estão bem próximos de zero e, de certa forma, uniformemente distribuídos, como visto na Figura 3.

Árvore	DAP	Altura medida no campo (metro)	Valor estimado pela equação (metro)	Resíduos (metro)
1	10	18	17,80233	0,197674
2	12	22	21,17442	0,825581
3	13	23	22,86047	0,139535
4	11	19	19,48837	-0,48837
5	9	16	16,11628	-0,11628
6	10	17	17,80233	-0,80233
7	15	26	26,23256	-0,23256
8	12	22	21,17442	0,825581
9	10	18	17,80233	0,197674
10	14	24	24,54651	-0,54651

Ao confiar uma equação para estimar alturas conhecendo-se apenas os DAP's das árvores, deve-se assumir os valores estimados pela equação como válidos também para as árvores que se conhece as suas alturas (as árvores que tiveram as alturas medidas no campo). As alturas reais das árvores que foram medidas no campo passam a ser as alturas estimadas pela equação e a matriz de dados de altura será toda ela composta por valores estimados pela

equação, descartando-se os valores medidos (Se você confia na sua equação use os dados gerados por ela, Voilà!).

A análise de variância da regressão também é utilizada como indicador da relação entre os DAP's e as alturas. Se a regressão for considerada significativa a um determinado nível de probabilidade significa que há relação de dependência entre as duas variáveis (DAP e altura) e que a equação fornecerá estimativas confiáveis da altura em razão dos DAP's.

A tabela abaixo mostra o resultado de uma análise de variância da regressão para as árvores-exemplo.

FV	GL	SQ	QM	F	F de significação
Regressão	1	97,7907	97,7907	288,7554	1,46E-07
Resíduo	8	2,709302	0,338663		
Total	9	100,5			

Note que a regressão foi considerada significativa, portanto, há dependência das alturas em razão dos DAP's.

Após a análise dos critérios de ajuste do modelo e da validação da equação, pode-se estimar a altura das demais árvores que tiveram apenas os DAP's medidos. Para, como exemplo, estimar a altura de uma árvore que tenha 10,5 cm de DAP, insere-se 10,5 no lugar do DAP na equação da reta. O valor da altura estimada será igual a 18,64 metros.

É importante saber que equações de regressão devem ser feitas com no mínimo 30 pares de dados e que as equações geradas somente podem ser utilizadas para estimativas dentro do intervalo de variação da variável independente, no exemplo, o DAP. Portanto, a equação da reta ajustada no exemplo não é confiável para estimar a altura de uma árvore que tenha DAP igual a 40cm, pois este valor (40cm) está fora da amplitude de variação dos DAP's utilizados para ajustar o modelo de regressão.