

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS

~~CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA~~
A DENSIDADE ~~BÁSICA~~ DAS MADEIRAS

Prof. Luiz E. G. Barrichelo
Prof. José Otávio Brito

Piracicaba - SP

1986

1987

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA

1. INTRODUÇÃO

A madeira é o principal produto obtido dos vegetais superiores, proveniente de dois tipos de essências: nativas e exóticas.

Tanto as essências nativas como as exóticas podem ser obtidas de povoamentos puros ou homogêneos e povoamentos mistos ou heterogêneos.

Normalmente, com as essências exóticas são estabelecidos povoamentos homogêneos, ou seja, com uma única espécie ou gênero. São casos típicos o *Eucalyptus* e *Pinus* introduzidos em nosso país, e empregados em larga escala nos programas de reflorestamento.

Do ponto de vista tecnológico, tanto as essências nativas como as exóticas, são classificadas dentro de dois grupos denominados como folhosas e coníferas.

As folhosas são essências florestais que na classificação do reino vegetal se enquadram dentro da sub-divisão das angiospermas. Por sua vez, as coníferas pertencem à sub-divisão das ginospermas.

As angiospermas possuem duas classes, quais sejam, as monocotiledôneas e as dicotiledônias. Estas últimas são as que realmente produzem madeira e, como tal, possuem particular interesse como fonte energética. O exemplo clássico de exótica da sub-divisão das angiospermas, classe das dicotiledôneas, é o eucalipto. Folhosas nativas importantes, são as madeiras de lei, como é o caso do pau-brasil, mogno, cedro, canela, jacarandá, ipê, etc.

Entre as coníferas exóticas uma ordem importante é a das coníferas cujo principal gênero é o *Pinus*. Entre as nativas destaca-se uma espécie de grande expressão econômica que é a *Araucaria angustifolia* (Pinheiro do Paraná).

A madeira, para ser utilizada para uma finalidade ou outra, incluindo-se entre elas a transformação em energia, é analisada sob uma série de aspectos:

a. *Silviculturais*

Estão relacionados com o estudo da árvore ou mais diretamente com a fração principal que é o fuste. Como exemplos de aspectos silviculturais, temos a forma da árvore e fuste, diâmetro, altura, volume, percentagem de casca, etc., que são estudados na Dendrometria.

b. *Morfológicos e anatômicos*

Cerne, alburno, medula, fibras, vasos, parênquima, madeira de reação, lenhos inicial e tardio, madeira juvenil e adulta, etc. Sob o ponto de vista da utilização da madeira para fins energéticos, estes aspectos não possuem importância de realce.

c. *Físicos*

Densidade, umidade, poder calorífico, higroscopicidade, cor, resistência mecânicas, etc.

d. *Químicos*

Composição qualitativa e quantitativa tanto elementar como de compostos fundamentais e acidentais, reações e propriedades da madeira, resistência à ação de produtos químicos, etc.

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

2.1. Densidade básica

Densidade, como conceituada dentro da Física, é uma relação entre massa e volume.

No caso específico da madeira, há diversas alternativas para se expressar a massa e o volume. Por exemplo, a massa pode ser expressa co-

mo absolutamente seca ou com um certo teor de umidade. Quando a árvore é recém-cortada, a madeira possui um teor máximo de umidade, ao redor de 50%. Quando seca ao ar, nas nossas condições, o teor oscila entre 10 e 15%.

O volume, da mesma maneira, vai diminuindo com a perda de umidade pela amostra. Assim sendo, é possível se ter um volume máximo (verde ou saturado) que é aquele apresentado pela madeira recém-cortada. O volume mínimo é conseguido quando a amostra de madeira é seca em estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ até peso constante, ou seja, quando a umidade é igual a zero.

A melhor alternativa, quando se visa produção de celulose, chapas e energia, vem a ser expressar a relação através da *densidade básica*, quando a massa é expressa em termos absolutamente secos e o volume é expresso em termos de verde ou saturado.

Desta forma, temos:

$$db = \frac{m}{V} \quad \text{onde:}$$

db = densidade básica, em g/cm^3 ou t/m^3

m = massa absolutamente seca, em g ou t

V = volume verde ou saturado, em cm^3 ou m^3

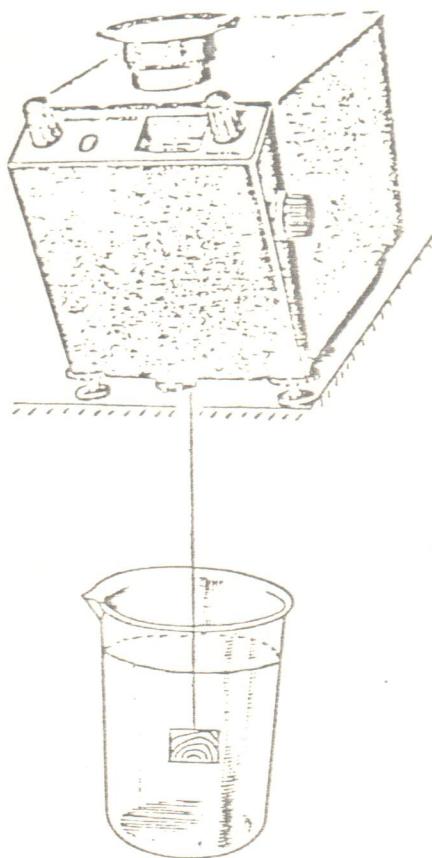
Para a determinação da densidade básica, fundamentalmente, existem dois métodos em função do tipo de amostra que está sendo utilizada: método da balança hidrostática e método do máximo teor de umidade.

2.1.1. Método da balança hidrostática

Este método é empregado para amostras de grande tamanho como: cilindros, discos, cunhas e blocos de madeira.

Inicialmente, o corpo de prova é mantido em água até a saturação. Para a madeira recém-cortada e que, devido a cuidados especiais, não chegou a perder água, este tratamento pode ser dispensado.

Através de um dispositivo especial acoplado ao prato da balança, é determinado o peso imerso (PI) do corpo de prova, conforme mostrado na Figura 1.



20 →
Figura 1. Determinação do peso imerso (PI) do corpo de prova.

Em seguida, o corpo de prova é retirado e removida a água superficial através de pano ou papel absorvente. O corpo de prova é imediatamente pesado e anotado o seu peso úmido ou atual (PU).

Após secagem em estufa regulada a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, até peso constante, o corpo de prova é pesado e anotado seu peso absolutamente seco (PS).

O cálculo da densidade básica é feito através da seguinte expressão:

$$db = \frac{PS}{PU-PI} \quad \text{onde:}$$

db = densidade básica, em g/cm^3

PS = peso absolutamente seco do corpo de prova, em g

PU = peso úmido ou atual do corpo de prova, em g

PI = peso imerso do corpo de prova, em g

OBSERVAÇÕES:

a. Quando um corpo \bar{e} mergulhado em \bar{a} gua, sofre uma força vertical dirigida para cima, com intensidade igual ao peso da \bar{a} gua deslocada, denominada, em puxo (Princípio de Archimedes).

O peso de \bar{a} gua deslocada pelo corpo de prova \bar{e} dada pela expressão:

$$P_{H_2O} = PU - PI, \text{ onde}$$

P_{H_2O} = peso de \bar{a} gua deslocada, em g

PU = peso úmido ou atual do corpo de prova, em g

PI = peso imerso do corpo de prova, em g

Para efeito prático, pode-se considerar a densidade da \bar{a} gua como sendo igual a $1g/cm^3$, resultando:

$$P_{H_2O} = V_{H_2O}$$

Como o volume de \bar{a} gua deslocada (V_{H_2O}) \bar{e} igual ao volume saturado ou verde (V_{cp}) do corpo de prova, temos finalmente que:

$$PU - PI = P_{H_2O} = V_{cp}$$

b. Alguns tipos de madeira, de densidade muito baixa, não chegam a afundar dentro da \bar{a} gua, mesmo após a saturação completa, impedindo a determinação do peso imerso. Neste caso \bar{e} necessário o emprego de taras metálicas ou similares que são acopladas ao corpo de prova.

Ocorrendo este fato, deve-se determinar o peso atual e imerso da tara, para correção do volume da mesma.

Outra alternativa \bar{e} se determinar o peso imerso da tara, e empregar a seguinte expressão:

$$db = \frac{PS}{PU - PI_c + PI_t} \quad \text{onde}$$

- db = densidade básica da amostra, em g/cm^3
 PS = peso absolutamente seco da amostra, em g
 PU = peso úmido ou atual da amostra, em g
 PI = peso imerso do conjunto (amostra + tara), em g
 PI_t = peso imerso da tara, em g

- c. A precisão da balança depende do tamanho da amostra. Normalmente são utilizadas balanças com 0,1 a 0,001 g de precisão.
- d. Este procedimento está de acordo com a norma M14/70, da ABCP - Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, São Paulo.

2.1.2. Método do máximo teor de umidade

Este método é empregado para pequenas amostras como cavacos, baguetas (cilindros de madeira obtidos através de sondas de Pressler, com diâmetro entre 0,5 a 1,0 mm e comprimento variável), seções de anéis de crescimento, etc.

O emprego de corpos de provas de dimensões reduzidas se justifica porque é necessário que a saturação em água seja total e completa. No método anterior, tal fato não é fator limitante, uma vez que, acima de 30% de umidade (base peso seco) o volume já é praticamente máximo.

A metodologia empregada é a seguinte:

- a. Imergir a amostra em água, utilizando como recipiente um dessecador, erlenmeyer, balão ou similar, provido de dispositivo para vácuo (bomba ou trompa de água).
- b. Manter a amostra imersa até a saturação completa. Para facilitar ou acelerar a penetração da água, utilizar vácuo intermitentemente.

O tempo necessário varia com o tipo de madeira e com a frequência de utilização do vácuo e seu relaxamento.

- c. Atingida a saturação completa, a amostra é retirada do recipiente, a água superficial é removida com papel absorvente e a amostra é pesada rapidamente em balança analítica.
- d. Em seguida, a amostra é colocada para secar em estufa regulada a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até peso constante.

- e. Retirada da estufa, a amostra é deixada esfriar em dessecador e pesada.
- f. O cálculo da densidade básica é feita através da seguinte expressão:

$$db = \frac{1}{\frac{PU - 0,346}{PS}} \quad \text{onde}$$

db = densidade básica, em g/cm³

PU = peso úmido ou atual da amostra, em g

PS = peso absolutamente seco da amostra, em g

OBSERVAÇÕES:

- a. A justificativa do cálculo pode ser encontrada em trabalhos de SMITH (1954, 1955 e 1961).
- b. Para pequenas amostras há uma perfeita correlação deste método com o anterior, conforme relatado por FOELKEL *et alii* (1971).
- c. A precisão da balança a ser utilizada depende do peso da amostra e o rigor da determinação. Normalmente, são utilizadas balanças com 0,001 g a 0,1 mg de precisão.

2.1.3. Classificação das madeiras quanto à densidade básica

Dentre as diversas maneiras para classificar a madeira quanto à densidade básica, uma das mais atuais é a adotada pelo FOREST PRODUCTS LABORATORY (1973) como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da madeira em função da densidade básica

Densidade (g/cm ³)	Descrição da madeira
< 0,20	Extremamente leve
0,20 - 0,25	Excessivamente leve
0,25 - 0,30	Muito leve
0,30 - 0,36	Leve
0,36 - 0,42	Moderadamente leve
0,42 - 0,50	Moderadamente pesada
0,50 - 0,60	Pesada
0,60 - 0,72	Muito pesada
0,72 - 0,86	Excessivamente pesada
> 0,86	Extremamente pesada

A classificação de uma dada madeira dentro destes critérios deve ser feita com relativa cautela, pois, a densidade pode variar, significativamente, entre gêneros e espécies, entre árvores dentro da mesma espécie por idade e local, dentro da árvore nos sentidos longitudinal e radial, etc.

A densidade é considerada um dos melhores parâmetros para expressar a qualidade da madeira. Porém, a nosso ver, é uma característica que deve ser manuseada com cuidado. Isto porque, apoiado no cálculo da densidade, a tendência é se generalizar sem se atentar para as variações que ocorrem.

2.1.4. Variações da densidade básica entre gêneros e espécies

A tabela 2 apresenta alguns valores típicos da densidade para coníferas e folhosas.

Tabela 2. Valores típicos de densidade básica

Matéria-prima	Local	Idade	db
<i>Araucária angustifolia</i>	PR	20-30	0,450-0,500
<i>Pinus elliottii</i>	SC	8-12	0,320-0,350
<i>Pinus elliottii</i>	SP	6-12	0,350-0,440
<i>Pinus taeda</i>	SC	9-12	0,330-0,370
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	SP	6-14	0,350-0,440
<i>Pinus kesiya</i>	SP	7-14	0,350-0,390
<i>Pinus oocarpa</i>	SP	12-13	0,440-0,480
<i>Pinus patula</i>	SP	6-14	0,350-0,450
<i>Eucalyptus grandis</i>	ES	5-10	0,450-0,520
<i>Eucalyptus saligna</i>	SP	5-7	0,500-0,550
<i>Eucalyptus propinqua</i>	SP	5-7	0,520-0,610
<i>Eucalyptus citricdora</i>	SP	6-8	0,550-0,650

Estes valores permitem uma série de inferências, de que no geral, as coníferas produzem madeiras com menores densidades quando comparadas às folhosas. Existem exceções, ou seja, folhosas que possuem densidades bastante baixas como é o caso da madeira de guapuruvu (db = 0,200 - 0,300 g/cm³) embaúba (db = 0,180 - 0,280 g/cm³), quiri (db = 0,190 - 0,280 g/cm³), etc.

Por outro lado, as madeiras de *Pinus* de regiões temperadas ou

sub-tropicais (*Pinus elliottii* e *P. taeda*) apresentam densidades menores que aqueles de regiões tropicais (*P. caribaea*, *P. oocarpa*, etc.).

Da mesma forma, a densidade da madeira tem-se mostrado tanto maior quanto menor for a latitude de ocorrência, para o *P. elliottii* e *P. taeda*. Para os tropicais e mesmo o eucalipto, as observações feitas não permitem, ainda, conclusões definitivas.

2.1.5. Variações da densidade básica dentro da mesma espécie para da idade e local

Na tabela anterior quando se observa que a densidade do *Eucalyptus grandis* com 5 anos é da ordem de 0,450 g/cm³, obviamente está sub-entendido que se trata de uma densidade média. Existe uma certa dispersão em torno deste valor, que pode ser maior ou menor em função de uma série de fatores, tanto genético como ambientais.

A Figura 2 mostra a dispersão através de um histograma referente às densidades básicas de madeira de 150 árvores de *Eucalyptus saligna*, com 5 anos de idade, amostradas no Estado de São Paulo.

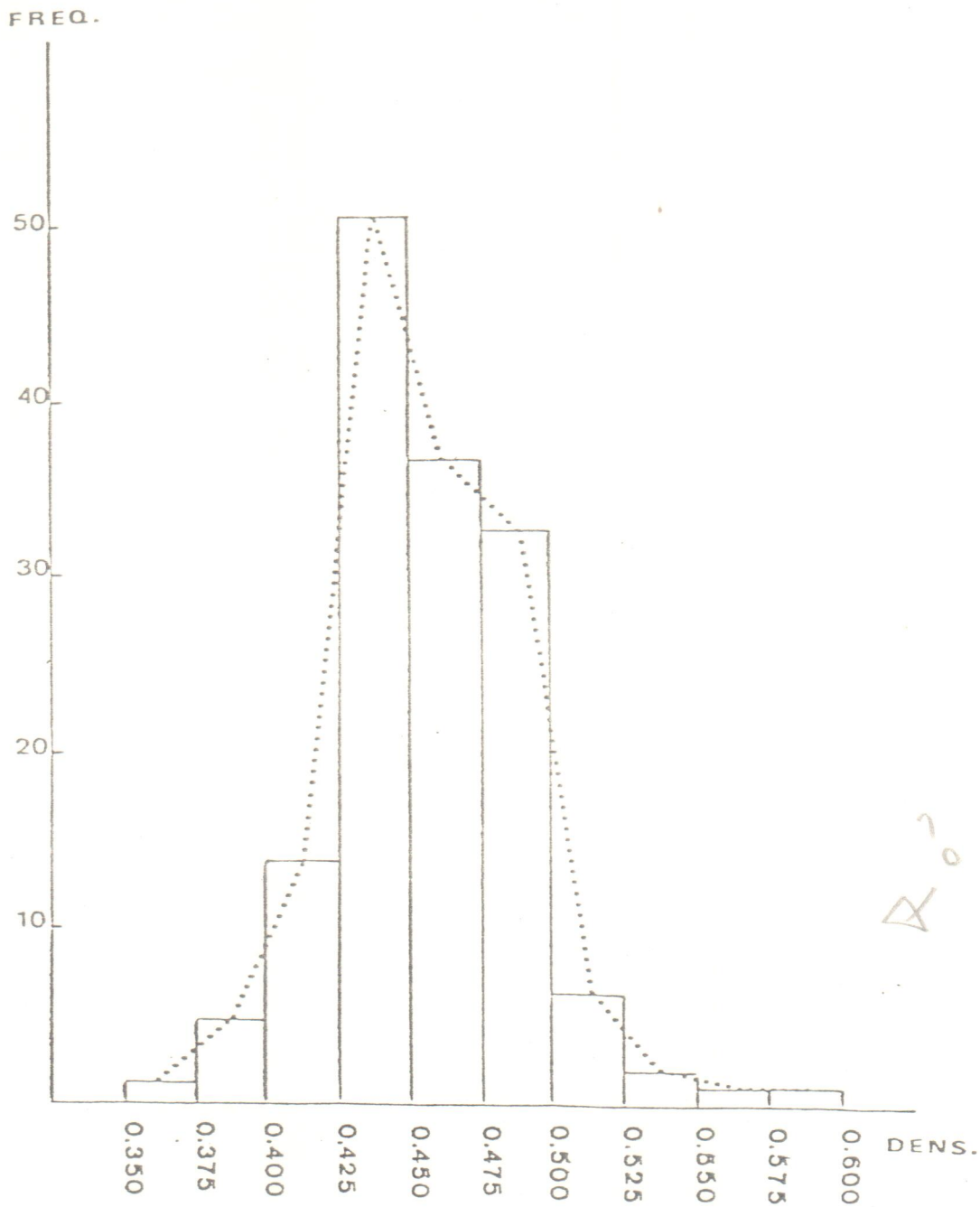


Figura 2. Histograma relacionando frequência e densidade básica de 150 árvores de *E. saligna*

A análise estatística destes valores fornece:

- densidade básica média = 0,455
- desvio padrão = 0,034
- erro da média = 0,003
- coeficiente de variação = 7,38%

Para a maioria das espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* quando a amostragem é feita através de baguetas, a média da densidade básica obtida é inferior àquela da árvore toda ou mesmo para o disco na respectiva altura (DAP). Isto se explica porque a bagueta é um cilindro que abrange a madeira desde a medula até a casca. Desta maneira, o corpo de prova obtido não é proporcional às quantidades de madeira próximas à região central e próximas às regiões periféricas do tronco.

Desta forma, se utilizada uma amostragem destrutiva, uma cunha é mais representativa do disco que a bagueta.

Para se contornar este problema, principalmente em estudos de Melhoramento Florestal, quando é utilizada a amostragem não-destrutiva, são determinadas equações lineares procurando correlacionar a densidade básica da bagueta com a densidade do disco, e mesmo, da árvore, como será visto oportunamente.

2.1.6. Variação da densidade básica dentro da árvore

Dentro de uma mesma árvore, a densidade básica pode variar no sentido longitudinal (base-topo) e no sentido radial ou transversal (medula-casca).

2.1.6.1. Variação longitudinal

Os principais modelos de variação longitudinal são:

Modelo 1. Decrescente uniformemente com a altura.

Modelo 2. Decrescente até certo ponto e crescente daí até o topo da árvore. Algumas vezes, pode decrescer levemente nas partes superiores.

Modelo 3. Crescente da base para o topo, não obedecendo a um padrão uniforme de variação.

O modelo 1, decrescente uniformemente com a altura tem se mostrado mais frequente para as espécies do gênero *Pinus*.

Para o gênero *Eucalyptus*, tem sido mais comum se observar o segundo modelo, decrescente até a região do DAP (diâmetro à altura do peito, ou seja, a 1,3 m do solo) e crescente a partir deste ponto, podendo ou não voltar a decrescer próximo ao topo.

2.1.6.2. Variação radial ou transversal

A exemplo da anterior, a variação radial é normalmente incluída dentro de um dos seguintes modelos:

Modelo 1. Crescente da medula para a casca.

Modelo 2. Decrescente dentro dos primeiros anos e crescente em direção à casca.

Modelo 3. Crescente nas regiões próximas à medula, permanecendo mais ou menos constante em direção à periferia. Algumas vezes decresce nas últimas porções formadas próximas à casca.

Modelo 4. Decrescente da medula para a casca.

As espécies de *Pinus* e *Eucalyptus* testadas no Brasil, na maioria se enquadram dentro do modelo 1, ou seja, a densidade da madeira sendo crescente no sentido medula-casca.

Devido a alternância de épocas de baixa e alta temperatura, bem como épocas secas e chuvosas, durante o ano, essa variação não é uniforme mas feita através de pontos de máxima e mínima densidade. No caso específico dos *Pinus*, os pontos de mínima coincidem com a formação de lenho inicial (madeira primaveril) e os de máxima coincidem com a formação de lenho tardio (madeira outonal).

Para o *Eucalyptus* que, na maioria das vezes, não forma anéis de crescimento diferenciados, a variação da densidade por ser detectada por atenuação de raios gama (FERRAZ, 1976) ou mesmo, raios beta e raios X.

As figuras 3 e 4 mostram exemplos típicos.

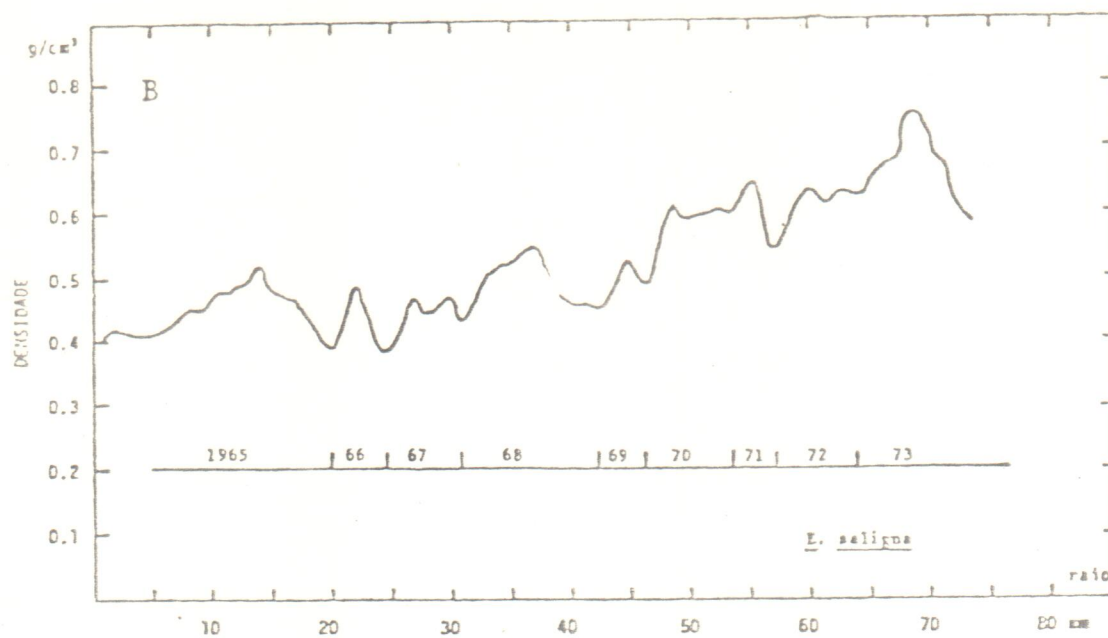


Figura 3. Variação da densidade da madeira de *Eucalyptus saligna*, no sentido medula-casca (FERRAZ et alii, 1978).

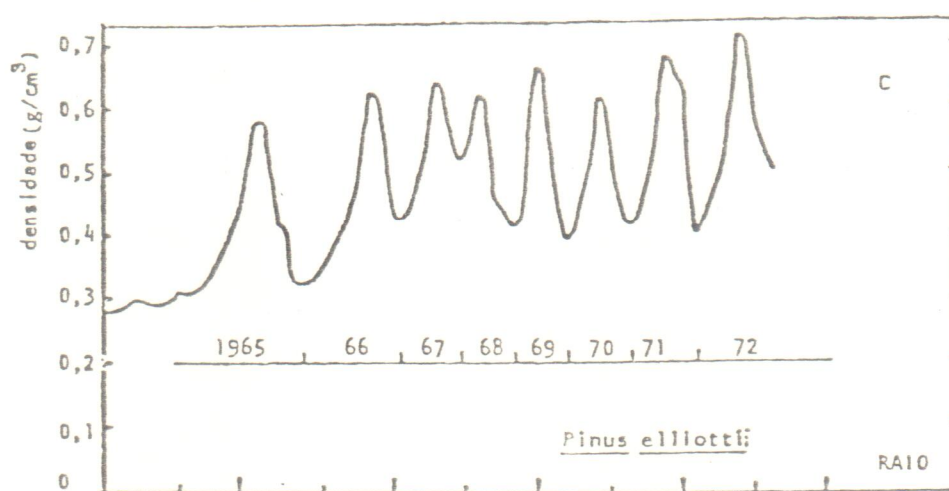


Figura 4. Variação da densidade da madeira de *Pinus elliottii*, no sentido medula-casca (FERRAZ et alii, 1978).

Algumas folhosas nativas, como jacarandã e bracatinga mostram anéis de crescimento a semelhança dos *Pinus* e pode-se notar correlações semelhantes.

2.1.7. Variação com a idade

A densidade básica da madeira aumenta com a idade, principalmente quando ocorre o modelo 1 de variação transversal. A madeira formada no ano é, dentro de certos limites, mais densa que aquela formada no ano anterior.

Após a formação se completar, ou em outras palavras, a madeira se lignificar, não ocorrem mais alterações da densidade, a não ser que haja deposições de extrativos que tendem a aumentar a densidade básica. Em casos extremos, a formação de cerne se torna tão acentuada que há, praticamente, uma inversão do modelo de variação radial, ou seja, o modelo que era crescente da medula para a casca, torna-se decrescente. O exemplo clássico ocorre com a madeira de ipê (*Tabebuia cassinoides*).

Reside neste fato, a crença generalizada de que o cerne é mais denso que o alburno. Para árvores jovens, como é o caso do eucalipto com 8 a 10 anos, tal fato não ocorre, a não ser para aquelas espécies com teores excepcionais de extrativos impregnando o cerne.

Resumindo, a tendência normal é da densidade ir aumentando com a idade, porque a árvore mais velha produz madeira mais densa em si (decorrência da presença de fibras com maiores espessuras de paredes) ou porque a árvore passa a produzir maiores quantidades de extrativos que se depositam nos interstícios e paredes celulares.

Um modelo típico de variação da densidade com a idade para *Eucalyptus grandis* pode ser visto na Figura 5.

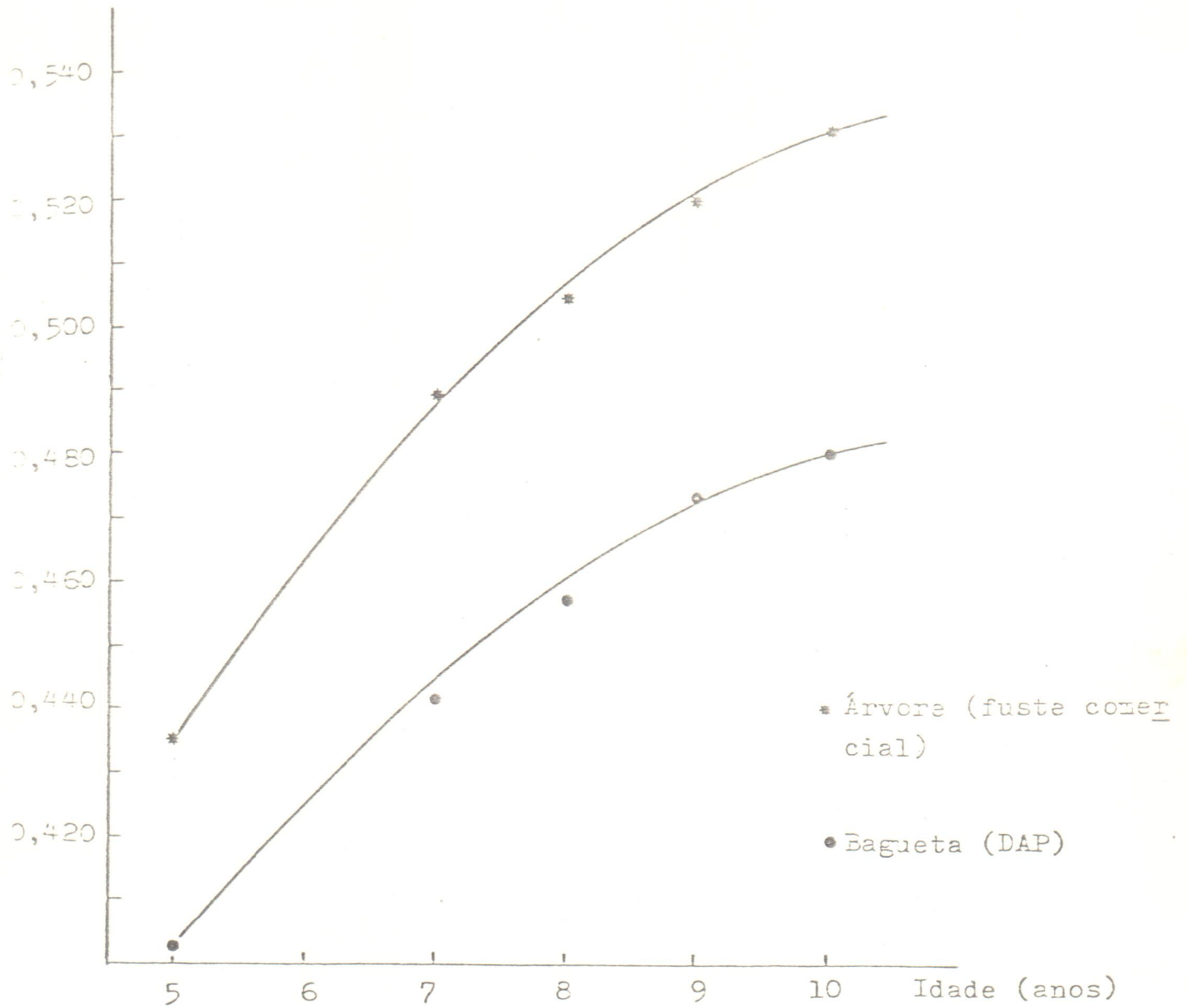
Densidade básica (g/cm^3)

Figura 5. Variação da densidade básica com a idade para *E. grandis*.

2.1.8. Correlação entre densidade básica ao nível do DAP e densidade básica média da árvore

A densidade básica ao nível do DAP pode ser conseguida através de dois métodos: destrutivo e não-destrutivo.

Através do método destrutivo, a árvore é abatida e removido um disco a 1,30 m do solo (DAP). Este disco é utilizado para a determinação da densidade básica pelo método da balança hidrostática. Se o disco for transformado em cavacos pode-se empregar o método do máximo teor de umidade.

No método de amostragem não-destrutivo, utilizado para estudos de Melhoramento Florestal, como ressaltado anteriormente, é retirada uma bagueta ao nível do DAP e a densidade determinada pelo método do máximo teor de umidade.

Diversos trabalhos têm mostrado que há uma correlação positiva entre a densidade da bagueta e densidade do disco, densidade da bagueta ou do disco e densidade da árvore, tanto para *Eucalyptus* como para *Pinus*. Desta maneira, através de equações lineares do tipo $y = a+bx$, pode-se converter uma expressão da densidade em outra.

De uma maneira geral, para uma mesma árvore temos:

$$d_{\text{bagueta}} < d_{\text{disco}} < d_{\text{árvore}}$$

Maiores detalhes podem ser conseguidos em trabalhos de FERREIRA (1970), HIGA et alii (1973) AMARAL et alii (1977).

2.1.9. Importância prática do conhecimento da densidade básica

Embora a densidade básica seja uma medida grosseira, refletindo a somatória de numerosas variáveis, ela tem sido mais investigada que qualquer outra propriedade da madeira. Isso tem ocorrido porque a densidade afeta a quase totalidade das utilizações tecnológicas.

Quando se analisam as madeiras, tem-se encontrado maiores correlações entre a densidade e características morfológicas, anatômicas e químicas para as coníferas, quando comparadas com as folhosas. Isto porque, normalmente, aquelas são mais uniformes sob os diferentes aspectos citados.

Cada aplicação tecnológica apresenta vantagens e desvantagens quando se utiliza madeira de maior densidade. Um ponto comum é o relaciona-

do caso o volume de madeira, quando, a partir do mesmo pode-se, através da densidade, estimar o peso de madeira por metro cúbico sólido, metro cúbico empilhado (estêreo) ou mesmo expressar a produtividade da floresta em termos de peso de matéria-seca por hectare,

Especificamente para fins energéticos, a maior densidade além de favorecer os parâmetros citados, poderá resultar:

- a. menor área de estocagem e manuseio da madeira;
- b. maior rendimento em matéria-seca no transporte;
- c. maior rendimento dos picadores, quando for necessária a transformação da madeira em cavacos;
- d. maior rendimento volumétrico dos fornos de carbonização (carvoejamento);
- e. maior rendimento das caldeiras para queima direta da madeira;
- f. maior rendimento dos gaseificadores da madeira para produção de gasogênio ou gás de síntese para metanol;
- g. maior rendimento dos reatores para hidrólise ácida, etc.

Outras vantagens poderão estar correlacionadas com as características químicas da madeira, em termos de compostos fundamentais, menor teor de umidade na madeira recém-cortada, etc.

2.1.9.1. Peso estimado de madeira por metro cúbico sólido

A própria expressão da densidade básica já fornece o peso estimado de madeira absolutamente seca por metro cúbico sólido.

Assim, uma madeira com densidade média igual a $0,5 \text{ t/m}^3$ apresenta um peso estimado de cerca de 500 kg de madeira seca, sem casca, por metro cúbico sólido.

No caso de se ter madeira com casca, a estimativa se torna mais trabalhosa, pois, é necessário se determinar a percentagem de casca e sua densidade, o que normalmente não é feito.

2.1.9.2. Peso estimado de madeira por metro cúbico empilhado (estêreo)

Para esta determinação é necessário o conhecimento, além da densidade básica, do fator de empilhamento da espécie, ou seja, a relação en

tre o volume empilhado e respectivo volume sólido,

A Tabela 3 apresenta os pesos estimados de um estêreo de madeira para diferentes densidades, admitindo-se um fator de empilhamento igual a 1,4.

Tabela 3. Peso estimado de madeira (kg) por metro cúbico empilhado (estêreo)

Densidade básica (t/m ³)	Peso (kg) de 1 estêreo	
	Madeira abs. seca	Madeira com 50% umidade
0,40	286	572
0,42	300	600
0,44	314	628
0,46	328	656
0,48	343	686
0,50	357	714
0,52	371	742
0,54	386	772
0,56	400	800
0,58	414	818
0,60	428	856

O peso estimado a uma dada umidade pode ser calculado a partir do peso absolutamente seco, através da seguinte expressão:

$$PU = \frac{PS \cdot 100}{100 - U} \quad \text{onde}$$

PU = peso estimado de um estêreo a uma dada umidade

PS = peso absolutamente seco de um estêreo

U = umidade (base peso úmido)

Exemplo: estimar o peso de um estêreo de madeira de eucalipto seca ao ar, admitindo-se uma densidade básica igual a 0,5 t/m³ e umidade de equilíbrio de 10%

PS = 357 kg a.s (df. Tabela 3)

U = 10%

Portanto:

$$PU = \frac{357 \cdot 100}{100 - 10} = 397 \text{ kg}$$

2.1.9.3. Quantidade de matéria-seca por hectare

A partir do rendimento volumétrico (metros cúbicos sólidos ou empilhados por hectare) pode-se estimar a quantidade de matéria-seca através das expressões:

$$Q = V_S \cdot db$$

$$Q = \frac{V_E \cdot db}{fe} \quad \text{onde}$$

$$fe = \frac{V_E}{V_S}$$

Q = quantidade de matéria (t) por hectare

V_S = metros cúbicos sólidos por hectare

V_E = metros cúbicos empilhados por hectare

db = densidade básica, em t/m^3

fe = fator de empilhamento

A tendência atual é o do Inventário Florestal expressar a produtividade da floresta diretamente em termos de peso seco de madeira, quando não, em termos de produto final da industrialização da matéria-prima ou sua transformação. Como exemplo, temos: toneladas de celulose por hectare, toneladas de carvão ou carbono fixo por hectare, kcal por hectare, etc.

2.2. Umidade

A umidade da madeira é outro parâmetro físico de grande importância, principalmente, quando de sua utilização para fins energéticos como queima direta, gaseificação, produção de carvão, etc.

Umidade é a expressão do teor de água presente na madeira e que pode ser removida por secagem em estufa a $105 \pm 3^\circ C$ ou destilada juntamente com solventes irremovíveis com a mesma, como o tolueno. Representa a fração da água que se encontra livre ou absorvida, não incluindo, obviamente a água de constituição e água de cristalização de certos componentes da madeira.