

UM MÉTODO ALTERNATIVO PARA A DETERMINAÇÃO DO PESO SECO DE AMOSTRAS DE MADEIRA

José Carlos Duarte Pereira^{*}

RESUMO

Este trabalho apresenta um método alternativo para a determinação do peso seco de amostras de madeira. Baseia-se na completa saturação da amostra e dispensa sua secagem. Nessas amostras completamente saturadas, o peso seco é calculado pelo produto do peso imerso em água pelo fator 2,887. Para comparar este método com o método gravimétrico convencional, amostras de alburno e de cerne de *Pinus elliottii* var. *elliottii*, *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* foram impregnadas com água até peso constante, usando-se centrifugação e pressão negativa. Depois disso, as amostras foram secas em estufa, a 105°C, e pesadas. A impregnação por centrifugação foi mais rápida e eficiente do que por pressão negativa. Amostras de alburno atingiram 99,7% do máximo teor de umidade depois de 90 minutos de centrifugação. Sob pressão negativa, foram necessárias cerca de 20 horas para se conseguir resultados semelhantes. Ambos os métodos foram ineficientes para amostras de cerne, demonstrando que o critério de peso constante não se constitui em bom indicador para a completa saturação. Os valores de peso seco obtidos através do método alternativo mostraram-se altamente correlacionados com aqueles obtidos através do método gravimétrico convencional, para amostras de alburno. O método é útil e preciso apenas para madeiras permeáveis. É rápido para amostras impregnadas por centrifugação. Em alguns casos, foram necessários apenas 30 minutos para se determinar o peso seco, o teor de umidade e a densidade básica de amostras secas ao ar. Entretanto, é necessário o desenvolvimento de curvas experimentais de saturação para se verificar se o estado de saturação completa foi atingido.

PALAVRAS-CHAVE: peso seco; densidade; teor de umidade.

AN ALTERNATIVE METHOD TO DETERMINE DRY WEIGHT OF WOOD SAMPLES

ABSTRACT

An alternative method to determine dry weight is examined. It is based on the complete saturation of wood without sample drying. The dry weight is calculated by using the submerged sample weight multiplied by 2.887. In order to compare this method with the conventional one, samples of sapwood and heartwood of *Pinus*

^{*} Eng. -Agrônomo, Doutor, CREA nº 41.777-D, Pesquisador da *Embrapa* - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas.

elliottii var. *elliottii*, *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* were impregnated with water up to a constant weight using centrifugation and negative pressure. Afterwards, samples were dried and weighted according to the conventional procedure. Saturation by centrifugation was faster and more effective than negative pressure. The sapwood samples achieved 99.7% of the maximum water content after 90 minutes of centrifugation. Under negative pressure, nearly 20 hours were necessary to achieve similar level. Both methods were ineffective for heartwood samples. This shows that constant weight is not always a good indicator of complete saturation. The dry weight values obtained by the proposed method and by the conventional one were highly correlated for sapwood samples. Therefore, the method described in this paper is accurate and feasible for permeable wood. It is very fast for samples impregnated by centrifugation. In some cases, around 30 minutes were necessary to determine dry weight, water content and basic density of air dried samples. Nevertheless, experimental impregnation curves are needed to check if complete saturation is obtained.

KEY WORDS: dry weight; density; moisture content.

1. INTRODUÇÃO

A determinação do peso seco é, freqüentemente, necessária quando se pretende caracterizar amostras de madeira. Análises importantes, como a densidade básica e o teor de umidade, implicam no conhecimento dessa variável. Outras devem ser desenvolvidas em amostras com teor de umidade predeterminado e, dessa forma, o conhecimento do peso seco também é necessário, embora não participe diretamente da marcha analítica.

Tanto para a determinação do teor de umidade, pelo método gravimétrico, como para a densidade básica - seja pelo método da balança hidrostática, Norma ABCP M14/70, seja pelo método do Máximo Teor de Umidade descrito por Keywerth (1954) e difundido no Brasil por Foelkel et al. (1971) e Foelkel et al. (1982) - os procedimentos compreendem a secagem das amostras em estufa, a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, até peso constante.

Ao demonstrar a relação com o peso imerso de amostras de madeira completamente saturadas, este trabalho define um método alternativo para a determinação do peso seco que dispensa a secagem das amostras. Seus objetivos compreendem a comparação de dois métodos de saturação - pré-requisito do método alternativo proposto - e a análise da eficiência e aplicabilidade nas determinações da densidade básica e teor de umidade.

2. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Numa amostra de madeira completamente saturada, na qual todos os vazios estejam ocupados por água, sejam:

- VT - volume total da amostra, em cm^3 ;
- VM - volume da substância madeira, em cm^3 ;
- VA - volume da água contida na amostra, em cm^3 ;
- PU - peso ao ar da amostra saturada, em gramas;
- PI - peso imerso, em água, da amostra saturada, em gramas;
- PS - peso da madeira absolutamente seca, em gramas;
- PA - peso da água contida na amostra, em gramas;
- 1,53- densidade da substância madeira, em g/cm^3 .

Quando uma amostra saturada encontra-se imersa em água, as forças que atuam no sentido descendente são os pesos de madeira (PS) e de água (PA). No sentido oposto, considerando a densidade da água igual a $1,0 \text{ g}/\text{cm}^3$, atuam forças equivalentes aos volumes VM e VA, pelo princípio de Arquimedes. O peso imerso, portanto, será a resultante dessas forças:

$$PI = (PS+PA) - (VM+VA)$$

Como $PA = VA$, em valor absoluto, tem-se:

$$PI = PS - VM$$

$$\text{Mas } PS/VM = 1,53 \text{ e } VM = PS / 1,53$$

$$\text{Logo, } PI = PS - PS / 1,53 \text{ e } PS = 2,887 PI$$

Algebricamente, chega-se à mesma expressão através da resolução do seguinte sistema:

$$PU = PS + PA$$

$$VT = VM + VA$$

Subtraindo, membro a membro, a segunda equação da primeira:

$$PU - VT = (PS + PA) - (VM + VA)$$

Como, pelo princípio de Arquimedes, $PI = PU - VT$, então:

$$PI = (PS + PA) - (VM + VA) \text{ e } PS = 2,887 PI.$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se amostras de madeira secas ao ar. Para saturá-las, as mesmas foram imersas em água e submetidas a pressão negativa ou a centrifugação.

No primeiro processo, as amostras foram colocadas em recipiente contendo água e mantidas imersas sob uma placa perfurada. Através de uma bomba de vácuo, a pressão interna do dessecador foi reduzida de 690 para 55 milímetros de mercúrio. Pesagens periódicas permitiram acompanhar o processo de impregnação, desenvolvido durante 20 horas sob vácuo contínuo.

No segundo processo, as amostras foram envoltas individualmente em pequenos pedaços de tela metálica para que permanecessem imersas no interior dos tubos durante o início da centrifugação. Quando já haviam absorvido uma quantidade de água suficiente para que afundassem, as telas foram removidas. A centrifugação foi desenvolvida, inicialmente, a 10.000 rpm (FC relativa = 12.100 G) e, posteriormente, a 15.000 rpm (FC relativa = 27.000 G). Como no caso anterior, pesagens periódicas permitiram o acompanhamento da impregnação. Em ambos os casos, as amostras foram consideradas saturadas quando atingiram peso constante.

Para se conseguir maior variabilidade, com quatro repetições, utilizaram-se amostras de alburno e cerne das espécies *Pinus elliottii* var. *elliottii*, *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. Depois de saturadas, através de uma balança hidrostática com precisão de 0,01 g, determinaram-se os pesos ao ar e imerso em água. O peso seco foi obtido através da secagem em estufa, a $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$, até peso constante, e também através de sua relação com o peso imerso ($PS = 2,887 PI$).

A densidade básica foi calculada através das expressões:

$$Db = PS/(PU-PI) \quad (\text{Método da balança hidrostática}) \text{ e}$$

$$Db = 2,887 PI / (PU-PI)$$

onde:

Db é a densidade básica e as outras variáveis já foram definidas anteriormente.

O teor de umidade foi calculado pelas equações:

$$\%Umidade = 100*(PU-PS)/PS \text{ e}$$

$$\%Umidade = 100*(PU-2,887 PI)/(2,887 PI)$$

Como a relação $PS = 2,887 PI$ pressupõe a substância madeira com densidade igual a $1,53 \text{ g/cm}^3$, esse valor foi verificado experimentalmente através da relação $PS/(VT-VA)$. Nesses cálculos, somente os valores relativos ao alburno - mais permeável e, portanto, mais fácil de saturar - foram considerados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A técnica da centrifugação revelou-se mais eficiente do que o uso da pressão negativa para a impregnação das amostras de madeira. Após 100 minutos de centrifugação, 93,63% (CV=3,15%) dos espaços vazios do cerne e 99,83% (CV=0,40%) do alburno encontravam-se impregnados com água. Quando se utilizou pressão negativa, após 20 horas, as amostras de cerne apresentavam apenas 67,09% (CV=23,94%) dos espaços vazios ocupados por água; para o alburno, esses valores atingiram 99,38% (CV=0,54%). Para as amostras de alburno, além de proporcionar maior rapidez e níveis superiores de impregnação, a centrifugação também proporcionou maior homogeneidade nos resultados, expressa através de um menor coeficiente de variação. Algumas amostras de alburno encontravam-se completamente saturadas depois de apenas 30 minutos de centrifugação.

A Tabela 1 mostra as relações entre as variáveis em estudo, para amostras impregnadas por centrifugação. A Tabela 2 apresenta-as para as variáveis impregnadas sob pressão negativa.

TABELA 1. Parâmetros obtidos através da análise de regressão linear para amostras impregnadas por centrifugação.

Tipo de amostra	Variável ¹ dependente	Variável ² independente	Intersecção	Coefficiente angular	F	R ²
Madeira integral	Peso seco	Peso seco	1,422	0,57478	54,24**	61,47
	Umidade	Umidade	134,883	0,12564	16,46**	32,62
	Dbásica	Dbásica	0,257	0,49358	57,85**	62,98
Alburno	Peso seco	Peso seco	0,026	0,99732	1.420,1**	99,23
	Umidade	Umidade	-2,152	1,00338	975,70**	98,89
	Dbásica	Dbásica	-0,007	1,02318	1.196,4**	99,09
Cerne	Peso seco	Peso seco	1,205	0,77812	39,55**	65,32
	Umidade	Umidade	138,513	0,11511	7,87*	27,26
	Dbásica	Dbásica	0,247	0,57431	24,24**	53,58

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade;

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade;

¹ - variáveis obtidas através de secagem em estufa;

² - variáveis obtidas através da relação entre o peso seco e o peso imerso;

Dbásica - densidade básica, em g/cm³.

TABELA 2. Parâmetros obtidos através da análise de regressão linear, para amostras impregnadas sob pressão negativa.

Tipo de amostra	Variável ¹ dependente	Variável ² independente	Intersecção	Coefficiente angular	F	R ²
Madeira integral	Peso seco	Peso seco	4,723	-0,04318	1,0323ns	3,56
	Umidade	Umidade	137,715	0,00009	0,0050ns	0,02
	Dbásica	Dbásica	0,434	0,08963	9,7565**	25,84
Alburno	Peso seco	Peso seco	0,072	1,00830	4083,9**	99,68
	Umidade	Umidade	-6,412	0,99958	916,80**	98,60
	Dbásica	Dbásica	-0,0181	1,06782	1.439,3**	99,10
Cerne	Peso seco	Peso seco	3,947	-0,16850	18,95**	59,32
	Umidade	Umidade	113,803	-0,00036	0,1408ns	1,07
	Dbásica	Dbásica	0,468	0,13832	14,99**	53,56

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade;

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade;

¹ - variáveis obtidas através de secagem em estufa;

² - variáveis obtidas através da relação entre o peso seco e o peso imerso;

Dbásica - densidade básica, em g/cm³.

Os valores apresentados nesses quadros sugerem que o cálculo do peso seco e das demais variáveis dele derivadas, somente é viável para madeiras permeáveis, nas quais a saturação é completa, igual ou muito próxima a 100%. Quaisquer erros na determinação do peso imerso são, logo de início, multiplicados por 2,887 para o cálculo do peso seco. O procedimento ora proposto, ao dispensar a secagem em estufa, não permite a confirmação do peso seco, sob pena de perder suas vantagens. A intersecção próxima de zero e o coeficiente angular próximo de 1,0 para as amostras próximas da saturação completa, indicam a igualdade entre as variáveis conforme se observa nas amostras de alburno impregnadas por

centrifugação (Tabela 1). Para essas, os erros observados em relação às variáveis calculadas a partir do peso seco em estufa foram apenas 0,65%, 1,20% e 0,65%, para peso seco, teor de umidade e densidade básica, respectivamente. A densidade da substância madeira foi 1,53 g/cm³, compatível com aquela relatada por Panshin e Zeeuw (1970).

O método aqui apresentado é eficiente, rápido e preciso para madeiras permeáveis. Para madeiras úmidas, pode ser mais rápido e dispensar o uso de artifícios como o revestimento das amostras em telas metálicas, no caso da impregnação por centrifugação, cujo objetivo é provocar a imersão inicial das mesmas. Para maior segurança nos resultados, recomenda-se o desenvolvimento de estudos de impregnação para diferentes tipos de madeira.

5. CONCLUSÕES

O peso seco de amostras de madeira pode ser determinado através da relação com o respectivo peso imerso em água. Essa determinação é precisa, extremamente rápida e dispensa o processo de secagem em estufa. Implica, entretanto, na completa saturação das amostras e, por isso, só é viável para madeiras permeáveis, como as de alburno. Não é aplicável para madeiras impermeáveis, como as do cerne, para as quais é necessário o desenvolvimento de métodos de impregnação mais eficientes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (São Paulo, SP). Normas de ensaio. São Paulo, 1.968. Não paginado.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. IPEF, n.2/3, p.65-74. 1971.

FOELKEL, C.E.B.; MILANEZ, A.F.; BUSNARDO C.A. Método do máximo teor de umidade aplicado à determinação da densidade básica da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte, 1982. p.792-796. Publicado em **Silvicultura**, v.8, n.28, jan./fev., 1983.

KEYLWERTH, R. **Holz Rohu Werkstoff**, v.12, n.3, p.77-83, 1.954.

PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C de. **Textbook of wood technology**. 3 ed. New York: Mc Graw-Hill, 1970. 705p.