

IPEF, n.39, p.17-20, ago.1988

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO CARVÃO VEGETAL POR ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA

A. R. COUTINHO
UNICAMP - Instituto de Física
13100 - Campinas - SP

E.S.B. FERRAZ
ESALQ-USP, Depto. de Física e Meteorologia
13400 - Piracicaba - SP

ABSTRACT - The mass coefficient of attenuation and density of charcoal were determined by measuring of gamma radiation of low energy (^{241}Am , 60 KeV and 100mCi of activity). Also, the density profile of the wood and corresponding charcoal obtained at 400°C.

RESUMO - Através da técnica de atenuação da radiação gama de baixa energia (^{241}Am 60 KeV e atividade 100mCi) determinou-se o coeficiente de atenuação de massa e a densidade média do carvão vegetal. Também foi possível observar o comportamento do perfil de densidade da madeira e seu respectivo carvão, para amostras carbonizadas a 400°C.

INTRODUÇÃO

As técnicas nucleares oferecem detalhes não alcançados pelos métodos tradicionais, mostrando toda sua potencial idade em inúmeros campos da tecnologia da madeira. Entre estas técnicas destaca-se a da atenuação da radiação gama de baixa energia, que permite estudar, além da madeira, algumas propriedades de seus subprodutos.

Os primeiros estudos da densidade e umidade da madeira através do uso da técnica de atenuação da radiação gama foram inicialmente desenvolvidos por LOSS (1961,1965). No Brasil, estes estudos foram introduzidos por REICHARDT & FERREIRA (1966), seguidos por FERREIRA & FERRAZ (1969) e outros. Mais tarde, vários trabalhos apareceram utilizando metodologia semelhante, baseados na utilização de um feixe homogêneo de 662 KeV do ^{137}Cs e detectados em espectrofotômetro gama monocanal, através de cintilador sólido de NaI(Tl).

Posteriormente, com objetivo de melhorar fatores como sensibilidade, detecção, amostragem e outros, FERRAZ (1976) utilizou uma fonte de ^{241}Am de 60 KeV e atividade de 100mCi, montada em colimadores de chumbo, empregando um cintilador sólido de NaI(Tl) na detecção. As análises de densidade foram realizadas em amostras de madeira de 3 cm de espessura, sendo que o aprimoramento da técnica resultou de estudos ligados a atividade de fonte, área da secção reta do colimador, distância de colimação e abertura da janela do analisador de pulsos e outros.

Atualmente, são conhecidos muitos trabalhos empregando a técnica da atenuação da radiação gama nos vários campos da tecnologia da madeira, destacando-se o estudo dos perfis radiais de densidade, a identificação de anéis de crescimento, a determinação de

incrementos anuais de massa e volume e outros. Entretanto, no que se refere ao carvão vegetal, esta metodologia foi utilizada pela primeira vez por COUTINHO (1984) visando estudar a friabilidade do carvão vegetal em função dos perfis radiais de densidade da madeira e a densidade média de seu respectivo carvão.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia alternativa, em relação aos métodos gravimétricos, no sentido de se determinar a densidade do carvão vegetal, estudar o comportamento de seu perfil de densidade e compará-lo ao da madeira de origem.

ASPECTOS TEÓRICOS

Quando um feixe de raios gama colimado e monoenergético interage com a matéria, resulta na atenuação da radiação, cujo fenômeno é regido pela lei de Beer-Lambert, representada pela expressão:

$$I = I_0 \exp \{ -(\mu \rho X) \} \quad (1)$$

onde I e I_0 são as intensidades dos feixes de radiação incidente e emergente (fotons $\text{cm}^{-2} \text{seg}^{-1}$) sobre o material absorvedor de espessura $X(\text{cm})$ e densidade (g cm^{-3}), sendo (g cm^{-2}) o coeficiente de atenuação de massa, cujo valor depende do absorvedor e energia da radiação gama (PINTO, 1978).

Considerando uma amostra de carvão vegetal com umidade em volume abaixo de 30%, a equação (1) deve ser adaptada levando-se em conta a atenuação devido a água; resultando na expressão:

$$I = I_0 \exp\{-x(\mu_c d_c + \mu_a d_a \theta)\} \quad (2)$$

onde μ_c e μ_a são os coeficientes de atenuação de massa ao carvão e da água, respectivamente; d é a densidade do carvão vegetal, d_a é a densidade da água sob condições normais e θ a fração volumétrica de água na amostra.

Da equação (2), explicitando-se a densidade do carvão, tem-se:

$$d_c = \frac{1}{x\mu_c} \{ \ln (I_0/I) - x\mu_a d_a \theta \} \quad (3)$$

Considerando-se o tempo morto de resposta do sistema eletrônico de detecção, a equação (3) resulta em:

$$d = \frac{1}{x\mu_c} \left\{ \ln \left(\frac{I_0}{1 - \Gamma I_0} / \frac{I}{1 - \Gamma I} \right) - x\mu d \theta \right\} \quad (4)$$

sendo $\Gamma = 5,10^{-6}$ segundos, para o espectrômetro monocanal utilizado (FERRAZ & MANSELL, 1979).

MATERIAIS E MÉTODOS

a) Preparo das amostras

Foram utilizadas amostras de **Eucalyptus saligna** de 9 anos de idade, coletadas na região do DAP (diâmetro a altura do peito), que cor responde aproximadamente a 1,5m de altura; inicialmente na forma de toretes de 40 cm de comprimento e diâmetro inferior a 20 cm, sendo, depois, cortados m blocos de dimensões 4cm x 4cm x diâmetro da árvore. Com a finalidade de evitar rachaduras, as amostras foram condicionadas em laboratório até atingir 10% de umidade e depois secas em estufa a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$.

b) Determinação do coeficiente de atenuação de massa

Algumas amostras foram moídas (60 mesh), sendo, em seguida compactadas no interior de um cilindro oco (3 cm de diâmetro interno e 5 cm de comprimento) e levado ao feixe de radiação, fazendo com que este atingisse a amostra no sentido longitudinal,

Para cada determinação de densidade, foram realizadas seis compactações e, em cada uma delas, obrigando o feixe a atingir a amostra em cinco pontos aleatórios. Portanto, o valor do coeficiente de atenuação de massa foi obtido como sendo a média de 30 determinações, as quais foram calculadas através da equação (1), agora em termos de μ_c onde:

$$\mu_c = \frac{1}{\rho x} \left\{ \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \right\}$$

e corrigida devido ao tempo morto do equipamento, torna-se:

$$\mu_c = \frac{1}{\rho x} \left\{ \ln\left(\frac{I_0/1 - \Gamma_0}{I/1 - \Gamma I}\right) \right\}$$

c) Determinação da densidade do carvão vegetal

As amostras de carvão foram lixadas até atingirem a espessura de 3,5 cm, com faces planas e rigorosamente paralelas.

Inicialmente, determinou-se de forma automática o perfil de densidade das amostras, no sentido casca-medula-casca, com o objetivo de verificar o comportamento individual da madeira, antes e depois de carbonizada.

Para se determinar a densidade média do carvão, a incidência do feixe ocorreu em dez pontos aleatórios ao longo de toda a amostra, evitando-se locais de rachaduras, medindo-se a intensidade dos feixes incidente e emergente, durante o tempo de um minuto,

Medindo-se a espessura, considerando a umidade em torno de 4% e conhecendo o coeficiente de atenuação de massa, então, a densidade em cada ponto foi calculada a partir da equação (4), Como foram utilizadas dez amostras para cada temperatura de carbonização

e a incidência do feixe de radiação ocorreu em dez pontos de cada amostra, então, o valor da densidade média do carvão vegetal foi tomado como sendo a média aritmética de cem de Terminações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Coeficiente de atenuação de massa

O coeficiente de atenuação de massa do carvão vegetal encontrado é independente da temperatura de carbonização, enquanto que o da água foi obtido por AGUIAR (1980), apresentando os seguintes valores:

$$\mu_c = 0,18721 \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)}$$

$$\mu_a = 0,2044 \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)}$$

b) Perfis de densidade

A Figura (1) mostra o perfil de densidade da madeira e seu respectivo carvão obtido a 400°C. Pode-se observar que o comportamento da densidade do carvão é semelhante ao da madeira de origem, ou seja, ambos apresentam uma região de densidade praticamente constante (cerne) e um gradual aumento até a casca .

Este perfil de densidade do carvão vegetal foi obtido para amostras carbonizadas a 400°C e de diâmetros inferiores a 10 cm, isto porque as amostras carbonizadas a temperaturas superiores e diâmetros maiores apresentaram rachaduras e deformações internas, além de difícil manuseio.

c) Densidade média

A Tabela (2) e a Figura (2) apresentam os valores de densidade do carvão vegetal em função da temperatura de carbonização.

TABELA 1 - Densidade do carvão vegetal em função da temperatura de carbonização.

Temperatura (°C)	400	500	600	700	800	900	1000
Densidade (g/cm ³)	0,31	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18
Desvio padrão (x10 ⁻³)	2,24	3,02	2,55	3,35	2,89	2,13	2,08
Coeficiente de variação (%)	0,72	1,13	1,01	1,48	1,40	1,12	1,18

Pode-se observar uma diminuição acentuada nos valores da densidade do carvão vegetal em função da temperatura de carbonização, cujo comportamento é linear, na faixa de 400°C a 1000°C.

CONCLUSOES

Como as amostras de carvão vegetal apresentam irregularidades superficial e volumétrica, devido às rachaduras causadas pelo colapso sofrido nos processos de perda de água, aliados a grandes espaços vazios, é preciso desenvolver novas técnicas, visando aprimorar os sistemas de medidas e torná-las mais confiáveis.

A metodologia de atenuação da radiação gama de baixa energia, apresenta uma série de vantagens, na determinação da densidade da madeira e seu respectivo carvão, destacando-se em:

- ser um método não destrutivo,
- ser praticamente pontual, pois permite sensibilidade nas medidas de densidade em pontos separados de até 1,0 mm,
- permite realizar varreduras ao longo de todo o diâmetro das amostras,
- a técnica não interfere nas características das amostras,
- podem-se usar amostras de valores e formas das mais variadas,
- precisão e acuracidade superior aos métodos gravimétricos.

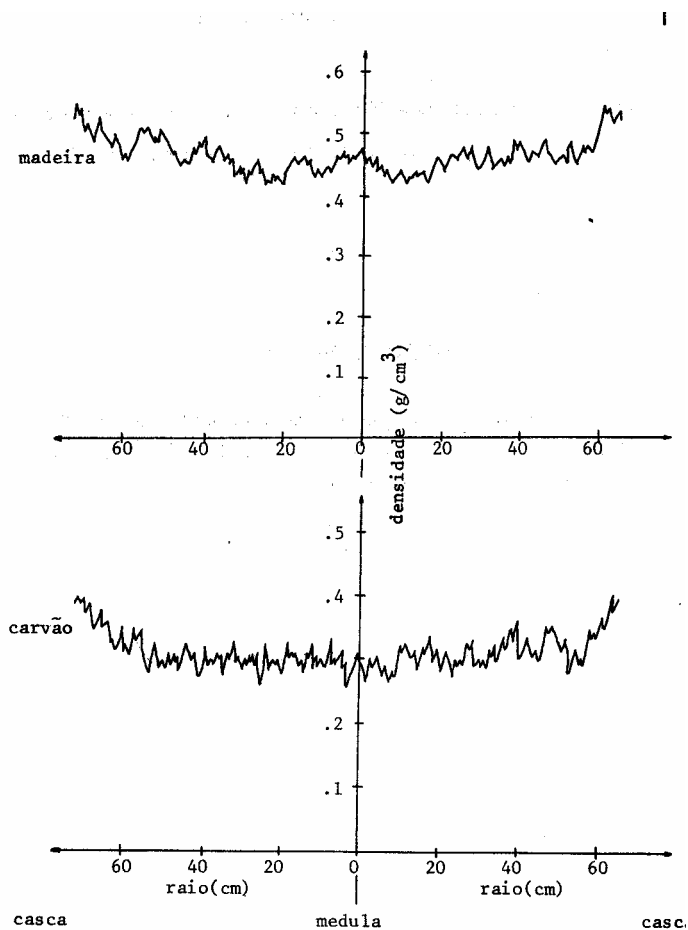


Fig. 1 - Perfil de densidade de uma das amostras da madeira e seu respectivo carvão.

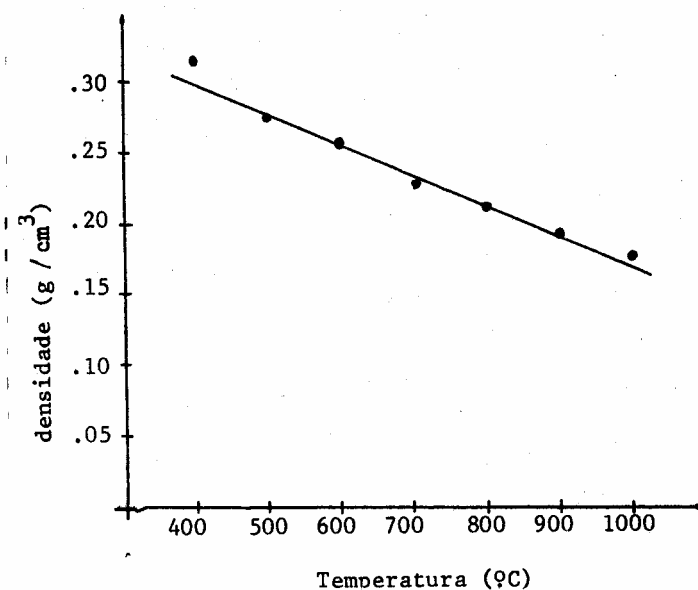


Fig.2 - densidade do carvão vegetal em função da temperatura de carbonização

AGRADECIMENTOS

Trabalho realizado no CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, com apoio da FINEP e CNEN.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, O. **Determinação da umidade em madeira por atenuação da radiação gama do ²⁴¹Am.** Piracicaba, 1980, 84p. (Tese-Mestrado-ESALQ).
- COUTINHO, A.R. **Qualidade do carvão vegetal correlacionada com as características da madeira do Eucalyptus saligna e temperatura de carbonização.** Piracicaba, 1984. 79p. (Tese-Mestrado-ESALQ)
- FERRAZ, E.S.B. Determinação da densidade de madeiras por atenuação da radiação gama de baixa energia. **IPEF**, Piracicaba (12): 61-8, 1976.
- FERRAZ, E.S.B. & MANSELL, R.S. Determining water content and bulk density of soil by gamma ray attenuation methods. **Technical bulletin. University of Florida**, Gainesville (807), 1979.
- FERREIRA, C.A. & FERRAZ, E.S.B. **Relatório de pesquisa apresentado à Comissão Nacional de Energia Nuclear.** Piracicaba, ESALQ, 1969. (não publicado)

LOSS, W.E. Determining moisture content and density of wood by nuclear technology: a review of methods. **Forest products journal**, Madison, 15: 102-6, 1965.

LOSS, W.E. The relationship between gamma ray absorption and wood moisture content and density. **Forest products journal**, Madison, 11(3): 1-5, 1961.

PINTO, F.A. **Determinação da densidade da madeira por atenuação da radiação gama do ^{241}Am** . Piracicaba, 1978. 89p. (Tese-Mestrado-ESALQ).

REICHARDT, K. & FERREIRA, M. Contribuição ao estudo do uso de radiação gama na determinação da densidade aparente da madeira. In: REUNIÃO SBPC, 18, Blumenau, 1966.