



IPEF: FILOSOFIA DE TRABALHO DE UMA ELITE DE EMPRESAS FLORESTAIS BRASILEIRAS

ISSN 0100-3453

CIRCULAR TÉCNICA Nº 150

Outubro/1982

PBP/3.1.6.1.

ESTIMATIVA DA DENSIDADE A GRANEL DO CARVÃO VEGETAL A PARTIR DE SUA DENSIDADE APARENTE

José O. Brito*
Luiz E. G. Barrichelo*
Mauricio C. Muramoto**
Hilton Thadeu Z. do Couto*

1. INTRODUÇÃO

A densidade tem sido citada, por diversos autores como um dos parâmetros mais importantes em termos da determinação da qualidade do carvão vegetal. Algumas pesquisas têm reportado o estudo das correlações entre a densidade do carvão vegetal e a densidade da madeira que o originou, destacando-se os trabalhos de DOAT & PETROFF (1978), BRITO & BARRICHELO (1980) e BRITO et alii (1981).

No caso da utilização do carvão vegetal em siderurgia, a densidade é uma propriedade bastante importante, pois, segundo GOMES & OLIVEIRA (1980) ela determina o volume ocupado pelo redutor no alto forno. Segundo estes mesmos autores, não havendo prejuízo para as outras propriedades, a densidade do carvão vegetal deve ser a maior possível.

A determinação da densidade do carvão vegetal, portanto, é uma prática recomendada sob o aspecto da utilização industrial.

De um modo geral, existem três métodos para se expressar a densidade do carvão vegetal. Um primeiro método consiste em se determinar o peso do carvão contido em uma caixa com volume de 1m^3 . A relação entre o peso obtido e o volume é denominada de

* Professores do Depto. de Silvicultura – ESALQ/USP.

** Aluno do Curso de Engenharia Florestal – ESALQ/USP. Bolsista da FAPESP.

densidade a granel, dada em kg/m^3 . O segundo método prevê a subtração do volume dos vazios entre os vários pedaços de carvão da medida realizada para densidade a granel. Mede-se assim, o volume dos vários pedaços considerando-se os poros internos como ocupados pelo material do carvão vegetal. Ter-se-á determinado o que se denomina *densidade aparente*. Por fim, a *densidade verdadeira* é a expressão do terceiro método que diz respeito à medida da densidade da substância que compõe o carvão vegetal, ou seja, é a densidade aparente descontando-se o volume da porosidade interna.

Dentre as diferentes densidades citadas, em termos práticos de operação com aparelhos de redução, a mais importante é, sem dúvida, a densidade a granel, pois, esta determina o espaço útil a ser ocupado naqueles aparelhos. As demais formas de expressão da densidade do carvão vegetal ficam quase que condicionadas a trabalhos acadêmicos de laboratório, por envolverem peças de carvão de menores dimensões e menores amostragens e, portanto, sem grande aplicação prática.

Justamente pelo fato dos ensaios de laboratório exigirem o trabalho com pequenas peças de carvão e amostragens reduzidas é que surgem problemas quanto à transferência dos resultados obtidos nestas condições para os casos práticos do uso industrial do carvão vegetal. Na tentativa de oferecer uma solução para este problema, o presente trabalho teve por objetivo o estudo da existência de correlação entre a densidade aparente determinada para carvão produzido, em grande escala, em fornos, sob condições de campo.

2. MATERIAL E MÉTODO

Para o estudo em questão, foi utilizado carvão produzido a partir da madeira de três espécies: *Eucalyptus* spp, *Pinus* spp e Acácia Negra.

A produção de carvão vegetal foi realizada pelo processo de combustão parcial, em forno metálico de volume nominal de 13m^3 , para peças de madeira com 2m de comprimento. O ciclo médio de cada carbonização (do acendimento ao início do resfriamento) foi de 10 horas. As carbonizações foram realizadas na Carvoaria Experimental do Dept^o de Silvicultura – ESALQ – USP, em Piracicaba-SP.

Para a determinação da densidade a granel do carvão, foi obtido o peso do carvão contido numa caixa de 40 x 40 x 40 cm de dimensões internas. Para evitar-se qualquer interferência da granulometria sobre a determinação da densidade, padronizou-se um mesmo grau granulométrico para todos os tipos de carvão empregados no estudo. O carvão foi padronizado segundo estipulado a seguir:

- fração grossa: retido em peneira de malha de 31,7 mm (60%)
- fração intermediária: retido em peneira de malha de 15,9 mm (30%)
- fração fina: passado em peneira de malha de 15,9 mm (10%)

Na determinação da densidade aparente, foi adotada a prática preconizada por BITTENCOURT & HOEFEL (1962) para peças de carvão vegetal com dimensões de 2 x 2 x 2 cm, com a única modificação de que o volume dessas peças foi calculado em função de medidas tomadas com auxílio de paquímetro com precisão de 0,001 cm e não com auxílio de volumênômetro de mercúrio.

Em todas as determinações das densidades, o teor de umidade do carvão foi controlado e padronizado em 7%.

Em resumo, foram empregadas as seguintes fórmulas para cálculo das densidades:

- densidade a granel:

$$d_{\text{granel}} = \frac{m}{v}$$

onde:

d_{granel} = densidade a granel (kg/m³ ou kg/m.d.c.)

m = massa do carvão (kg)

v = volume de carvão (m³)

- densidade aparente:

$$d_{\text{ap}} = \frac{m}{v}$$

onde:

d_{ap} = densidade aparente (g/m³)

m = massa de carvão do cubo (g)

v = volume do cubo (cm³)

Para a determinação de densidade a granel, foram realizadas 10 determinações de densidade aparente, com amostragem para tal realizada no carvão contido na respectiva caixa. A densidade aparente considerada foi a densidade aparente média das 10 determinações.

3. RESULTADOS

Os resultados alcançados na determinação da densidade aparente e densidade a granel do carvão são mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Densidade aparente e densidade a granel do carvão.

Nº	Carvão	Densidade a granel (kg/m ³)	Densidade aparente (g/cm ³)
1	<i>Pinus spp</i>	184	0,249
2		172	0,240
3		180	0,249
4		174	0,237
5	<i>Eucalyptus spp</i>	195	0,287
6		186	0,253
7		195	0,315
8		186	0,280
9		191	0,265
10		188	0,242
11		189	0,317
12	Acácia Negra	230	0,402
13		223	0,388
14		230	0,360
15		227	0,374

A correlação entre a densidade aparente e a densidade a granel do carvão foi efetuada mediante o uso de regressão linear simples.

A equação de regressão linear obtida foi:

$$y = 99 + 327,65 x \quad r = 0,9406$$

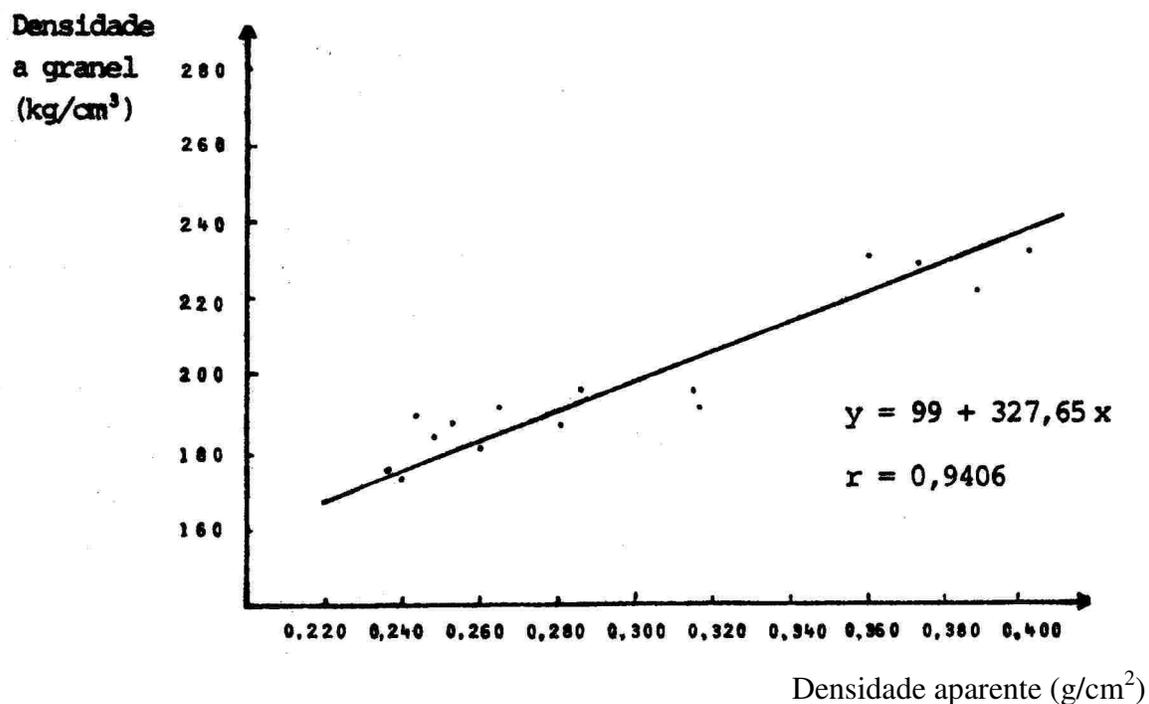
onde:

y = densidade a granel do carvão

x = densidade aparente do carvão

r = coeficiente de correlação

A figura 1 ilustra os resultados alcançados na regressão.



4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os valores das densidades aparentes e a granel obtidos para madeira de acácia negra, madeira de eucalipto e madeira de *Pinus* estão de acordo com aqueles citados respectivamente por BITTENCOURT & HOEFEL (1962), GOMES & OLIVEIRA (1980) e BRITO et alii (1981).

Em termos gerais, houve uma tendência de que o carvão de acácia apresentasse densidade superior ao carvão de eucalipto, e este superior ao carvão de *Pinus*.

Especificamente dentro do objetivo deste trabalho, observou-se a existência de uma correlação altamente significativa entre a densidade aparente e a densidade a granel do carvão. Dessa forma, através da equação, é possível estimar qual seria a densidade a granel de um carvão produzido num forno, em condições de campo, e na granulometria

preconizada neste trabalho, a partir da densidade aparente do mesmo carvão produzido em laboratório.

A densidade aparente passa a ter um significado importante para carvões obtidos em condições laboratoriais, pois, através da equação de regressão, pode-se estimar a densidade a granel que o mesmo carvão terá quando produzido em fornos de campo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BITTENCOURT, R.C. & HOEFEL, H.A. Carvão de acacia negra (*Acacia decurrens* Wild. Var. *molissima*). Anais. *Associação Brasileira de Química*, São Paulo, 10: 1-13, 1962.

BRITO, J.O & BARRICHELO, L.E.G. Carvão vegetal de madeira de desbaste de *Pinus Circular técnica*. *IPEF*, Piracicaba (146): 1-12, jun.1982.

BRITO, J.O & BARRICHELO, L.E.G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: 2 – densidade da madeira x densidade do carvão. *IPEF*, Piracicaba (20): 121-6, 1980.

DOAT, J. & PETROFF, G. Pyrolyse des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. *Bois et forêts des tropiques*, Nogent-sur-Marne (177): 51-64, 1978.

GOMES, P.A. & OLIVEIRA, J.B. de Teoria da carbonização da madeira. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS – *Uso da madeira para fins energéticos*. Belo Horizonte, 1980. p.27-41.

Esta publicação é editada pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, convênio Departamento de Silvicultura da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

Periodicidade – irregular

Permuta com publicações florestais

Comissão Editorial:

Marialice Metzker Poggiani – Bibliotecária

José Elidney Pinto Junior

Comissão de Pesquisa do Departamento de Silvicultura – ESALQ-USP

Fábio Poggiani

Mário Ferreira

Walter de Paula Lima

É proibida a reprodução total ou parcial dos artigos publicados nesta circular, sem autorização da comissão editorial.

Diretor Científico – IPEF:

João Walter Simões

Divulgação – IPEF

José Elidney Pinto Junior

Distribuição: Biblioteca do IPEF

Endereço: IPEF – Biblioteca
ESALQ-USP
Caixa Postal, 9
Fone: 33-2080
13.400 – Piracicaba – SP
Brasil