

## PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS GRÃOS DE CAFÉ

Paulo Cesar AFONSO JÚNIOR<sup>1</sup> e Paulo Cesar CORRÊA<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo determinar as principais propriedades térmicas dos grãos de café descascado e café despulpado: calor específico, condutividade e difusividade térmica, para diferentes tipos de preparo e teores de umidade. Os resultados obtidos permitiram concluir que as propriedades térmicas do café, em função do teor de umidade, comporta-se de forma similar a maioria dos produtos agrícolas já estudados, ou seja, os valores de calor específico e condutividade térmica aumentam com a elevação do teor de umidade enquanto a difusividade térmica diminui com o aumento da umidade do produto.

**PALAVRAS-CHAVE:** café, calor específico, condutividade térmica, difusividade térmica

**ABSTRACT:** This work had as objective to determine the main thermal properties of the coffee, specific heat, conductivity and thermal diffusivity, for different types of prepare and moisture contents. The obtained results allowed to end that the thermal properties of the coffee, in function of the moisture content, behaves in a similar way most of the agricultural products studied, that is to say, the values of specific heat and thermal conductivity increase with the elevation of the moisture content while the thermal diffusivity decreases with the increase of the humidity of the product.

**KEY WORDS:** coffee, specific heat, thermal conductivity, thermal diffusivity

### INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades físicas e térmicas dos produtos de origem vegetal é de fundamental importância para o correto dimensionamento de equipamentos necessários ao processamento pós-colheita desses produtos e para a simulação dos diversos processos e fenômenos em que o material é submetido (Drouzas e Saravacos, 1988; Fang, 1997).

De acordo com Mohsenin (1980) e Rossi *et al.* (1982), para prever as mudanças térmicas internas de um produto sujeito as etapas de secagem, resfriamento e armazenagem, torna-se necessário a determinação de suas principais propriedades térmicas: calor específico, condutividade e difusividade térmica. Segundo Rossi *et al.* (1982) a determinação das propriedades termofísicas de uma massa granular porosa deve ser feita observando-se a existência de uma massa de ar presente na massa total do produto, ou seja, deve ser considerada a determinação aparente destas propriedades.

Diversos fatores, principalmente os que atuam após a colheita do café, têm sido demonstrados como causadores de modificações indesejáveis e prejudiciais à qualidade do produto. No entanto, algumas técnicas utilizadas após a colheita como o descascamento, assim como a retirada da mucilagem dos frutos maduros, têm-se mostrado eficiente na melhoria desta qualidade.

O café depois de colhido pode ser pré-processado de duas formas distintas, por via seca ou via úmida. Na forma de preparo por via seca o fruto é processado na sua forma integral (com casca ou em coco), enquanto na forma de preparo por via úmida, obtém-se o café descascado e sem mucilagem (despulpado). Entretanto, o preparo por via úmida tem ultimamente sofrido modificações com o objetivo de simplificação do processo, uma destas alterações é a utilização do descascamento sem a fase de fermentação ou retirada da mucilagem (descascado), ou seja, após a etapa de retirada da casca o produto é submetido diretamente a secagem.

A otimização dos diferentes processos empregados no controle e conservação da qualidade do café depois da colheita requer o estudo da transferência de calor e de massa, juntamente com a descrição de fenômenos a elas associados. Modificações termofísicas em produtos agrícolas submetidos aos processos de secagem, aeração e armazenagem, decorrente de mudanças da concentração de água no interior do produto, podem ser calculadas com base em equações matemáticas que levem em consideração as relações existente entre essas propriedades e seu teor de umidade. Porém, para as formas de preparo pós-colheita do fruto do cafeeiro, com exceção da forma em coco, não existe na literatura especializada referências a respeito do comportamento dessas propriedades no material processado.

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, M.S., Doutorando no DEA-UFV, cep 36.571-000, Viçosa, MG, pjunior@alunos.ufv.br

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, D.S., professor adjunto no DEA-UFV, cep 36.571-000, Viçosa, MG, copace@mail.ufv.br

Em vista do exposto e diante o fato da escassez de informações na literatura para as diferentes formas de preparo do café (descascado e despolpado), este trabalho teve como objetivo, determinar as principais propriedades térmicas: calor específico, condutividade e difusividade térmica, em função do teor de umidade do produto.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem - CENTREINAR, Viçosa, MG. Foram utilizados frutos de café da espécie *Coffea arabica*, variedade Catuaí Vermelho, colhidos com teor de umidade aproximado de 100% base seca (50% base úmida). O produto depois de colhido e pré-processado, foi homogeneizado e colocado para secar em estufa com ventilação forçada a temperatura de  $(35 \pm 3)^\circ\text{C}$ . Com o processo de secagem, foram obtidos diferentes frações mássicas de água, na faixa de 0,111 a 0,621 em base seca. Os teores de umidade do produto foram determinados pelo método da estufa,  $(105 \pm 3)^\circ\text{C}$ , até peso constante, em três repetições.

O calor específico do café para os diferentes teores de umidade e forma de preparo foi determinado pelo método das misturas, com três repetições para cada tratamento, de acordo com técnica descrita por Sasseron (1984). Neste método, o produto com massa e temperatura conhecidas foi colocado em um calorímetro de capacidade térmica conhecida, contendo água a uma temperatura e massa também conhecidas. Atingido o equilíbrio térmico da mistura o calor específico do produto foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$C_p \cdot M_p \cdot (T_e - T_p) = C_a \cdot M_a \cdot (T_a - T_e) + C \cdot (T_a - T_e) \quad (1)$$

em que

$$\begin{aligned} C_p &= \text{calor específico do produto, } \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}; & M_a &= \text{massa de água, kg;} \\ C_a &= \text{calor específico da água, } \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}; & T_p &= \text{temperatura do produto, } ^\circ\text{C;} \\ C &= \text{capacidade calorífica do calorímetro, } \text{kJ} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}; & T_a &= \text{temperatura da água, } ^\circ\text{C;} \\ M_p &= \text{massa de produto, kg;} & T_e &= \text{temperatura de equilíbrio, } ^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

Para determinação da condutividade térmica e análise do fluxo de calor transiente através da massa granular de café, empregou-se o método do cilindro teoricamente infinito, imerso em ambiente com temperatura controlada (B.O.D.), segundo metodologia descrita por Muir e Chandra (1970) e Rossi *et al.* (1982). A equação abaixo foi utilizada para descrever o fluxo de calor em uma fonte linear:

$$\frac{\delta T_p}{\delta \theta} = \alpha \left[ \frac{\delta^2 T_p}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta T_p}{\delta r} \right] \quad (2)$$

em que

$$\begin{aligned} \theta &= \text{tempo, s;} & r &= \text{distância radial da fonte de calor, m.} \\ \alpha &= \text{difusividade térmica, } \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}; \end{aligned}$$

Este método consiste na utilização de um cilindro de alumínio com diâmetro e comprimento pré-determinados para possibilitar a adoção da hipótese de condução unidimensional, na direção radial, do calor gerado por um fio condutor de níquel-cromo invernizado colocado no eixo central do cilindro, pelo qual passou uma corrente com baixa amperagem e voltagem de aproximadamente 1A e 2,5V, respectivamente. A temperatura foi monitorada por meio de termopares colocados à meia altura do cilindro e distanciados um centímetro entre eles. A condutividade térmica da massa de café foi obtida em regime transiente, por coordenadas cilíndricas, pela equação:

$$K = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot (T_{p2} - T_{p1})} \cdot \ln \left( \frac{\theta_2 - \theta_0}{\theta_1 - \theta_0} \right) \quad (3)$$

em que

$$\begin{aligned} K &= \text{condutividade térmica, } \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}; & T_{p\theta} &= \text{temperatura do produto no tempo } \theta, ^\circ\text{C;} \\ Q &= \text{calor fornecida ao fio resistor, W;} & \theta_0 &= \text{fator de correção, s.} \end{aligned}$$

Segundo Chang (1986), o fator de correção  $\theta_0$  pode ser calculado como uma função do logaritmo dos valores de tempo e das diferenças entre as temperaturas observadas ao longo do tempo e a temperatura inicial do sistema.

A massa específica aparente das diferentes formas de preparo do café foi determinada com o auxílio de uma balança de peso hectolitro da marca Dallemole, com capacidade de um litro, em cinco repetições para cada teor de umidade estudado.

Depois de determinados experimentalmente os valores de calor específico, condutividade térmica e massa específica aparente da massa granular de café, a difusividade térmica da massa de café, para as diferentes formas de preparo, foi determinada utilizando-se a equação:

$$\alpha = K / \rho \cdot C_p \quad (4)$$

em que  $\rho$  representa a massa específica aparente do produto ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores experimentais da massa específica aparente em função da umidade da massa de café, para as diferentes formas de preparo analisadas.

TABELA 1- Valores de massa específica aparente em função da forma de preparo e da umidade do café.

Café Descascado		Café Despulpado	
Fração Mássica de Água (base seca)	Massa Específica Aparente ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	Fração Mássica de Água (base seca)	Massa Específica Aparente ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
0,597	518,58	0,621	550,92
0,406	474,68	0,445	490,48
0,337	460,04	0,326	461,38
0,253	449,22	0,236	443,32
0,209	450,90	0,208	443,18
0,176	450,88	0,176	443,14
0,143	449,50	0,143	442,96
0,111	448,62	0,111	440,40

Observa-se na Tabela 1 a existência de uma relação diretamente proporcional entre os valores de massa específica aparente e o teor de umidade, ou seja, a redução dos valores do teor de umidade durante o processo de secagem da massa de café está diretamente associada a diminuição da massa específica aparente do produto, independente da forma de preparo analisada.

As Figuras 3 a 8 mostram os valores experimentais e estimados de calor específico, condutividade e difusividade térmica, em função da umidade do café para as duas formas estudadas de preparo do café, com os respectivos coeficientes de determinação ajustados ( $R^2$ ) e erros médios relativo (P) e estimado (SE).

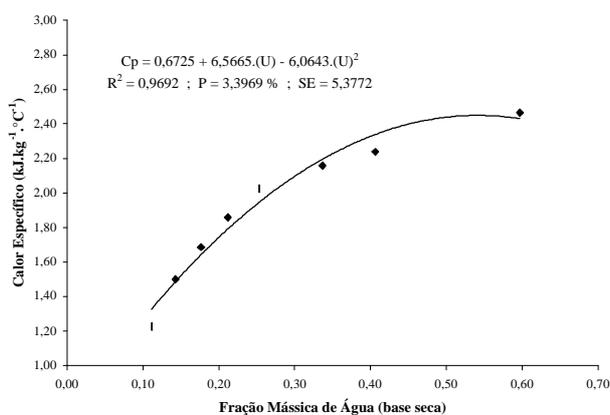


FIGURA 3 - Valores experimentais e estimados de calor específico do café descascado em função da umidade (U).

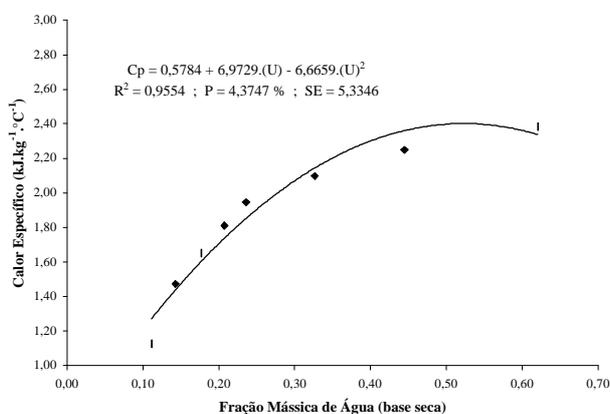


FIGURA 4 - Valores experimentais e estimados de calor específico do café despolpado em função da umidade (U).

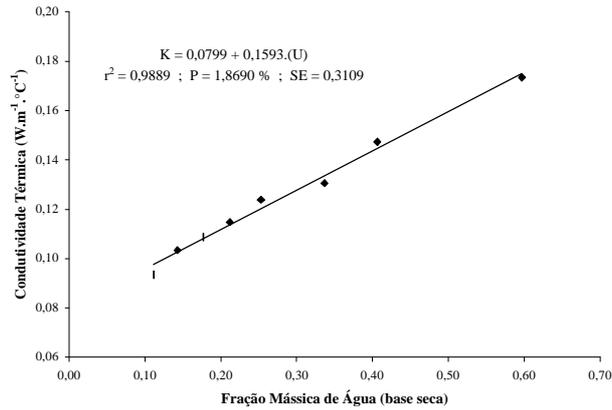


FIGURA 5 - Valores experimentais e estimados da condutividade térmica do café descascado em função da umidade (U).

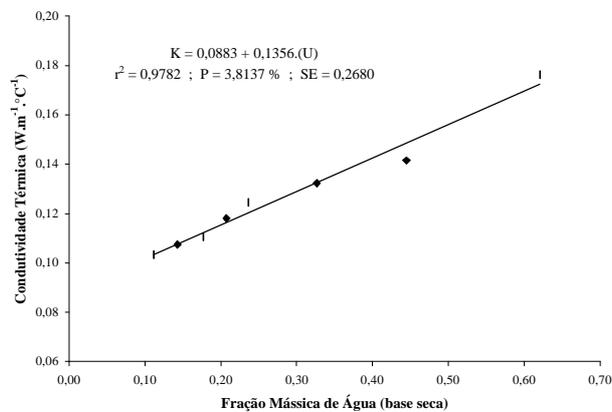


FIGURA 6 - Valores experimentais e estimados da condutividade térmica do café despolpado em função da umidade (U).

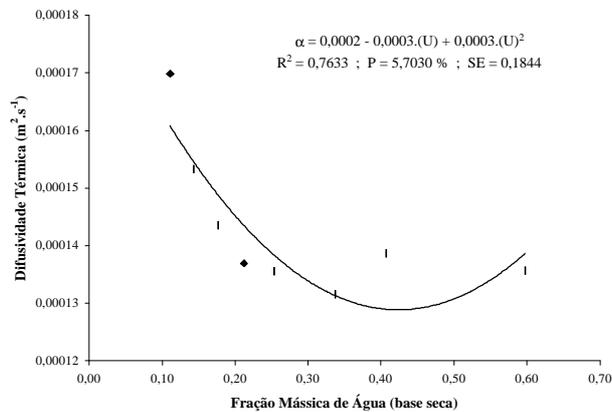


FIGURA 7 - Valores experimentais e estimados da difusividade térmica do café descascado em função da umidade (U).

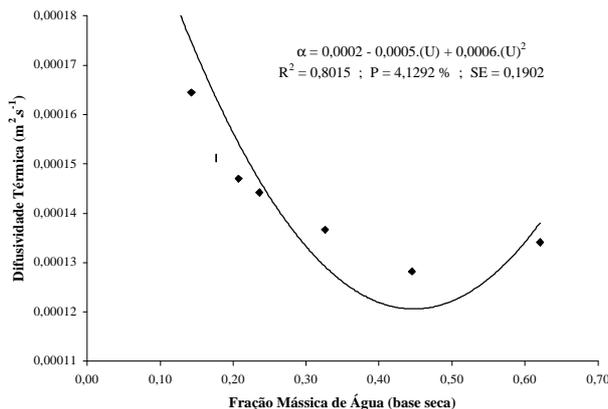


FIGURA 8 - Valores experimentais e estimados da difusividade térmica do café despulpado em função da umidade (U).

Pelas Figuras 3 a 8, observar-se que os valores de calor específico e condutividade térmica aumentam com a elevação do teor de umidade do café, ocorrendo o inverso para os valores de difusividade térmica do produto (Figuras 7 e 8), uma vez que a elevação do teor de umidade acarreta na redução de seus valores. Comportamento semelhante foi observado por diversos pesquisadores para o café em coco e outros produtos agrícolas (Rossi *et al.*, 1982; Chang, 1986; Correa *et al.*, 2000). De modo geral, verifica-se ainda nas Figuras 3 a 8, a não existência de diferenças acentuadas entre os valores encontrados de calor específico, condutividade e difusividade térmica, para as duas formas analisadas de preparo do café.

## CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos permitiu concluir que:

1. As propriedades térmicas do café descascado e despulpado, em função do teor de umidade do produto, comporta-se de forma similar a maioria dos produtos agrícolas já estudados, ou seja, os valores de calor específico e condutividade térmica aumentam com a elevação do teor de umidade enquanto a difusividade térmica diminui com o aumento da umidade do produto.
2. O calor específico do café descascado variou de 1,2254 a 2,4653 kJ.kg<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>, a condutividade térmica de 0,0934 a 0,1735 W.m<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup> e a difusividade térmica de 1,3568x10<sup>-4</sup> a 1,6990x10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, para umidade variando de 0,111 a 0,597 em base seca.
3. O calor específico do café despulpado variou de 1,1290 a 2,3848 kJ.kg<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>, a condutividade térmica de 0,1033 a 0,1762 W.m<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup> e a difusividade térmica de 1,3441x10<sup>-4</sup> a 2,0780x10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, para umidade variando de 0,111 a 0,621 em base seca.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHANG, C.S. Thermal conductivity of wheat, corn, and grain sorghum as affected by bulk density and moisture content. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.5, p.1447-1450, 1986.
- CORREA, P.C.; SAMPAIO, C.P.; REGAZZIA, J.; AFONSO JÚNIOR, P.C. Calor específico dos frutos do café de diferentes cultivares em função do teor de umidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. Especial, n.1, p.18-22, 2000.
- DROUZAS, A.E.; SARAVACOS, G.D. Effective thermal conductivity of granular starch materials. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.6, p.1795-1799, 1988.
- FANG, Q.; LAN, Y.; KOCHER, M.F.; HANNA, M.A. Thermal conductivity of granular starch materials. **ASAE**, St. Joseph, Paper n.976014, 1997.
- MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach science publishers Inc., 1980. 407p.
- MUIR, W.E.; CHANDRA, S. Thermal conductivity of spring wheat at low temperatures. **ASAE**, St. Joseph, Paper N° 70-805, 1970.
- SASSERON, J.L. **Avaliação de propriedades físicas e curvas de secagem, em camadas finas, de amêndoas de cacau (*Theobroma cacao* L.)**. Viçosa: UFV, 1984. 61p. Dissertação Mestrado.
- ROSSI, S.J.; FIOREZE, R.; OLIVEIRA, A.M.C.; MALZAC, H.F. Propriedades térmicas de castanha de cajú e raspa de mandioca. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.7, n.1, p.51-56, 1982.

## **AVISO**

ESTA PUBLICAÇÃO PODE SER ADQUIRIDA NOS  
SEGUINTE ENDEREÇOS:

### **FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES**

Edifício Sede, s/nº. - Campus Universitário da UFV  
Viçosa - MG  
Cep: 36571-000  
Tels: (31) 3891-3204 / 3899-2485  
Fax : (31) 3891-3911

### **EMBRAPA CAFÉ**

Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (Final)  
Edifício Sede da Embrapa - sala 321  
Brasília - DF  
Cep: 70770-901  
Tel: (61) 448-4378  
Fax: (61) 448-4425