



PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS REAL DE SEMENTES DE JACA EM FUNÇÃO DO TEOR DE ÁGUA, NA TEMPERATURA AMBIENTE.

Douglas Vinicius Pinheiro de Figueiredo¹, Marcos José de Almeida Gama²

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi determinar experimentalmente as propriedades termofísicas real (calor específico, condutividade térmica, difusividade térmica e massa específica), de sementes da fruta tropical jaca, na temperatura ambiente, avaliando o efeito do teor de água, além de ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais. Para determinação das propriedades termo físicas foi utilizado o KD2-PRO da Decagon Devices Inc. 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163 (USA). Foram estudadas sementes, com a faixa de teor de água variando de 20,64 a 60,23 % (b.u.), submetidas à secagem à temperatura de 313 K. A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de massa). Concluiu-se que o teor de água influencia nas propriedades termofísicas real das sementes de jaca.

Palavras-chave: Calor Específico, Condutividade Térmica, Difusividade Térmica.

¹Aluno de Engenharia de Alimentos, Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, UFCA, Campina Grande, PB, e-mail: douglasdvpf@hotmail.com

²Doutor, Professor, Unidade Acadêmica de Física, UFCA, Campina Grande, PB, e-mail: mgama@reitoria.ufca.edu.br

REAL THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF JACA SEEDS IN THE FUNCTION OF THE WATER CONTENT, AT THE ENVIRONMENTAL TEMPERATURE.

ABSTRACT

The objective of the present work was to experimentally determine the real thermophysical properties (specific heat, thermal conductivity, thermal diffusivity and specific mass) of seeds of tropical fruit jaca at room temperature, evaluating the effect of the water content, besides adjusting different models to experimental values. To determine the thermophysical properties KD2-PRO was used from Decagon Devices Inc. 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163 (USA). Seeds with a water content range ranging from 20.64 to 60.23% (b.u.) were studied, submitted to drying at a temperature of 313 K. The reduction of the water content during the drying was followed by the gravimetric method (weight loss). It was concluded that the water content influences the real thermophysical properties of the seed of the jaca.

Keywords: Specific Heat, Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity.

INTRODUÇÃO

O Nordeste possui imensa riqueza vegetal tanto de espécies nativas como de espécies introduzidas que se adaptaram as suas condições edafo-climáticas e, vem se destacando com um percentual significativo no volume de produção mundial de frutas.

Possuindo condições climáticas favoráveis para o cultivo de fruteiras tropicais, o Brasil é um dos principais produtores mundiais de frutos "*in natura*" e de sucos, despertando o interesse de produtores das diversas regiões onde os pomares são explorados comercialmente durante todo o ano e são responsáveis pelo abastecimento de todo o país (SILVEIRA et al., 2007).

Atualmente, o Brasil é o terceiro produtor mundial de frutas, superado apenas pela China e Índia (SANTIAGO & ROCHA, 2001). A fruticultura é, hoje, um segmento da agricultura nacional que responde por mais de 35% do valor da produção agrícola (ALVES et al., 2011).

A fruticultura na região Nordeste é a atividade agrícola que tem registrado maior crescimento no país, durante as últimas décadas a ponto de constituir, hoje, um dos principais vetores para o desenvolvimento econômico da região (CARVALHO et al., 2007).

No entanto, são insignificantes as quantidades de frutas da região nordeste que são exportadas, como a jaca (*Artocarpus heterophyllus*), embora já se tenha detectado e quantificado o possível mercado consumidor para esse produto.

A jaqueira é uma árvore tropical de grande porte, pertencente à família das Moraceae. Original da Índia, a exótica jaca foi trazida para cultivo no Brasil ainda no século XVIII. O período de frutificação é de outubro a fevereiro e sua propagação é por sementes.

Políticas de produção e exportação dos frutos tanto na forma "*in natura*", como processados precisam ser adotadas para que um maior mercado interno e externo possa ser conquistado. Para que isso seja viabilizado, tornam-se necessários programas de melhoramento do processo produtivo, os quais requerem o conhecimento das alterações fisiológicas que ocorrem nestes produtos, desde a semeadura até o pós colheita (GAMA et al., 2012).

O desenvolvimento de programas de melhoramentos é fundamental para a conservação das sementes que representam, de forma significativa, a variabilidade

genética da espécie, para que os recursos genéticos possam ser facilmente obtidos. Sementes podem manter-se viáveis durante longos períodos de tempo, desde que possam, depois de secas, serem armazenadas corretamente.

O conhecimento das propriedades termofísicas das sementes é de suma importância para prever o comportamento e a quantidade de energia requerida quando estas sementes são submetidas a diferentes condições de secagem e armazenamento (RIBEIRO et al., 2007). Porém, as propriedades termofísicas de grande parte dos produtos vegetais brasileiros não são encontradas na literatura, muito menos de sementes de frutas tropicais (MOURA et al., 2005).

Calor específico é uma grandeza física intensiva que define a variação térmica de determinada substância ao receber determinada quantidade de calor. Também é chamado de capacidade térmica mássica. Assim, o calor específico real consiste na quantidade de calor que é necessário fornecer à massa da semente para elevar a sua temperatura de um grau e expressa-se em joule por quilograma e por grau.

Condutividade térmica é uma propriedade de transporte, indica a taxa pela qual a energia é transferida pelo processo de difusão. Ela depende da estrutura física, atômica e molecular do material, que por sua vez está relacionada ao estado da matéria (INCROPERA & DEWITT, 2003).

Difusividade térmica indica como o calor se difunde através de uma semente. Isto depende, por um lado, da condutividade térmica e da velocidade de condução da energia térmica no interior da semente e, por outro lado, do calor específico e da quantidade de energia térmica necessária para aumentar a temperatura do volume da semente.

A difusividade térmica é uma propriedade mais importante para o controle térmico do que a condutividade térmica, porque expressa quão rapidamente a semente se ajusta por inteiro à temperatura de seu entorno.

Materiais de baixa difusividade retardam a transferência de variações externas de temperatura para o interior das construções, por exemplo: Um material com baixa difusividade tem pequena condutividade (conduz muito mal) e alto calor específico (é necessária muita energia térmica para aumentar a temperatura de determinado volume do material).

Na análise de transferência de calor, o produto entre a massa específica e o calor específico é denominado de capacidade calorífica volumar e mede a capacidade

do material armazenar energia térmica. A razão entre a condutividade térmica e a capacidade calorífica é a difusividade térmica.

Os problemas de transferência de calor na secagem de materiais biológicos, podem incluir interfaces sólido-líquido, sólido-gás, líquido-líquido e líquido-gás.

As sementes possuem peculiaridades, específicas, que limitam a utilização de suas características termo físicas sob condições diferentes daquelas para as quais foram determinadas. As propriedades termofísicas das sementes têm valores específicos para as condições que são obtidas e para cada espécie.

Alterações das propriedades termo físicas em função do teor de água, durante e depois da secagem, tem sido adequadamente investigado por diversos autores (BARYEH, 2002; CARVALHO, et al., 2007; AMIN et al., 2011; GAMA et al., 2011).

Apesar do desenvolvimento tecnológico obtido até o momento, algumas operações empregadas no manuseio das sementes precisam ser ainda entendidas com maiores detalhes tais como, os fenômenos que regem as propriedades químicas e termofísicas dos materiais vegetais.

Diante da importância do conhecimento das propriedades termofísicas e da inexistência na literatura especializada de estudos das propriedades termofísicas real da jaca, este estudo experimental tem como objetivo determinar as propriedades termofísicas real, da semente de jaca com diferentes teores de água (20,64; 26,66; 34,59; 42,43; e 60,23 % b.u.), na temperatura ambiente.

MATERIAIS E MÉTODOS (OU METODOLOGIA)

O estudo das propriedades termo físicas real das sementes de jaca em temperatura ambiente foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos - UAEA, do Centro de Tecnologia em Recursos Naturais - CTRN da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande - Paraíba.

Na realização desta pesquisa experimental foram utilizadas sementes provenientes da região polarizada por Campina Grande, com teor de água inicial de 60,23% (b.u.) e em seguida, foram submetidas à dessecção na temperatura de 40 °C até atingirem os teores de água desejados. Os teores de água foram determinados pelo método padrão de estufa (105 ± 3 °C por 24 horas), com três repetições, segundo as normas do Instituto Adolfo Lutz, BRASIL (2005).

As propriedades termo físicas (calor específico real, condutividade térmica real, difusividade térmica real e a massa específica real) das sementes de jaca foram obtidas utilizando-se o aparelho KD2-PRO da Decagon Devices Inc. 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163 (USA) (Figura -1), que utiliza o método da sonda quente, medindo estas propriedades com 10% de precisão e cujas especificações técnicas (faixas de medida) são: condutividade térmica-0,002 à 2W/m°C; difusividade térmica- (0,1 à 1) mm²/s; resistividade térmica- (0,5 à 10) m°C/W.



Figura -1: Aparelho KD2-PRO da Decagon Devices Inc. 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163 (USA).

Este aparelho disponibiliza três tipos de sonda específica para cada tipo de produto, sendo que a utilizada no experimento foi a SH-1, é uma sonda que possui agulha dupla e é ideal para ser utilizada em materiais como a semente de jaca.

Os dados experimentais obtidos das propriedades termo físicas real de sementes de jaca foram submetidos à análise de regressão, utilizando software OriginPro 8.

Os modelos matemáticos foram escolhidos com base na significância da equação, pelo teste F, e dos coeficientes da regressão, utilizando-se o teste t, a fim de se estabelecer as equações que representem as interações entre as variáveis analisadas.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram: o coeficiente de determinação (R²), o erro relativo médio

(P) e o erro médio estimado ou erro padrão (SE), calculado pelas equações 1 e 2, respectivamente.

Soma dos quadrados dos desvios

$$QMD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (k_{pre} - k_{exp})^2} \quad (1)$$

em que:

QMD: quadrado médio dos desvios;

kpre: valor médio da propriedade termo física;

kexp: valor experimental da propriedade termo física real;

N: número de observações experimentais.

Erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE) e por verificação do comportamento de distribuição de resíduos. Os erros médios relativos e os erros estimados, para cada modelo, foram calculados de acordo com as seguintes expressões:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{DF}} \quad (2)$$

em que:

Y: valor experimental da propriedade termofísica real;

\hat{Y} : valor médio da propriedade termofísica;

n: número de observações experimentais;

DF: grau de liberdade (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

A difusividade térmica real foi calculada utilizando-se a Equação 3 a partir dos dados experimentais das demais propriedades termofísicas.

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (3)$$

em que

k - condutividade térmica, $W m^{-1} ^\circ C^{-1}$

α - difusividade térmica, $m^2 s^{-1}$

ρ - massa específica, $kg m^{-3}$

C_p - calor específico a pressão constante, $J kg^{-1} ^\circ C^{-1}$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores das propriedades termo físicas de sementes de jaca são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores experimentais das propriedades termofísicas real de sementes de jaca com teores de água (% b.u.) variando de 20,64 a 60,23%.

Teor de Água (%b.u.)	Calor Específico (KJ Kg ⁻¹ °C ⁻¹)	Condutividade Térmica (W m ⁻¹ °C ⁻¹)	Massa Específica x 10 ⁻³ (Kg m ⁻³)	Difusividade x 10 ⁻⁷ (m ² s ⁻¹)
20,64%	1,198	0,313	0,193	1,294
26,66%	1,562	0,410	0,168	0,897
34,59%	1,675	0,422	0,125	0,494
42,43%	2,106	0,455	0,106	0,352
60,23%	2,325	0,524	0,103	0,185

Não há erros sistemáticos no instrumento utilizado e os erros de paralaxe não são significativos.

Os valores do calor específico real das sementes de jaca variou entre 1,198 a 2,325 KJ Kg⁻¹ °C⁻¹; a condutividade térmica real variou entre 0,313 a 0,524 W m⁻¹ °C⁻¹, a massa específica variou entre 0,193 a 0,103 x 10⁻³ Kg m⁻³ e a difusividade térmica variou entre 1,294 a 0,185 x 10⁻⁷ m² s⁻¹, na faixa de teores de água estudada.

Os resultados obtidos são coerentes com os obtidos por diferentes pesquisadores, que estudaram as propriedades termo físicas de sementes, em função do teor de água, na temperatura ambiente, entre eles: BOREM et al. (2002), estudando cinco variedades de café cereja descascado, concluíram que o calor específico e condutividade térmica aumentam com a elevação do teor de água enquanto a difusividade térmica diminui com o aumento do teor de água. PC et al. (2002), estudando variedades de grãos de café, verificaram que o calor específico e condutividade térmica aumentam com a elevação do teor de água enquanto a difusividade térmica diminui com o aumento do teor de água, independentemente do tipo de preparo. ANDRADE et al. (2004), estudando grãos de milho concluíram que a condutividade térmica e o calor específico dos grãos aumentaram, enquanto a

difusividade térmica diminuiu, com o aumento do teor de água do produto. CORRÊA et al. (2004) estudando grãos de milho, alpiste e painço concluíram que os valores de calor específico e condutividade térmica aumentam com a elevação do teor de umidade dos grãos de milho, alpiste e painço, e ainda, que a difusividade térmica diminui com o aumento do teor de umidade dos produtos analisados. GAMA et al. (2011), estudando sementes de cajá, concluíram que a difusividade térmica diminuiu com o aumento do teor de água.

Os dados experimentais das propriedades termofísicas real de sementes de jaca em função do teor de água (b.u.) foram ajustados por regressão linear.

Os modelos matemáticos obtidos representam satisfatoriamente os valores experimentais, sendo significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t da ANOVA.

Na Tabela 2, encontram-se as equações de ajuste obtidas, para estimar as propriedades termo físicas real de sementes de jaca, em função do teor de água, com seus respectivos coeficientes de determinação.

Tabela 2. Equação de predição da condutividade térmica aparente de sementes de cajá em função do teor de água (b.u.).

Propriedade Termofísica	Ajuste Linear	Condutividade Térmica ($W\ m^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$)	
		P	R ²
Calor Específico	$C_p = 0,9338 + 0,2798 X$	0,00138	97,8 %
Condutividade térmica	$k = 0,2847 + 0,0467 X$	0,00823	93,8 %
Difusividade térmica x 10^{-7}	$\alpha = 1,4733 - 0,2763 X$	0,00505	94,8 %
Massa específica x 10^{-3}	$\rho = 0,2116 - 0,0242 X$	0,0091	92,4 %

em que:

k - condutividade térmica, $W\ m^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$

α - difusividade térmica, $m^2\ s^{-1}$

ρ - massa específica, $kg\ m^{-3}$

C_p - calor específico a pressão constante, $J\ kg^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$

O comportamento da variação das propriedades termofísicas real de sementes de jaca em função do teor de água (% b.u.), são mostrados nas de Figuras 2 a Figura 6.

Figura 2: Valores experimentais e estimados do calor específico real de sementes de jaca em função do teor de água.

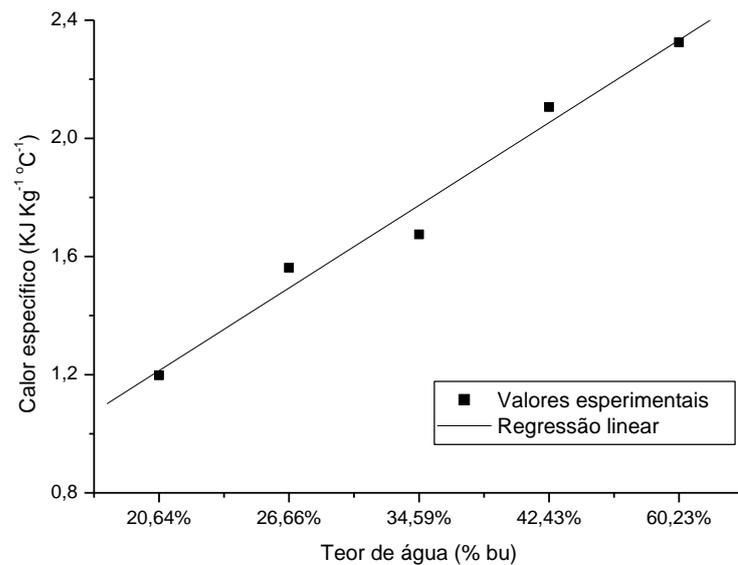


Figura 3: Valores experimentais e estimados da condutividade térmica real de sementes de jaca em função do teor de água.

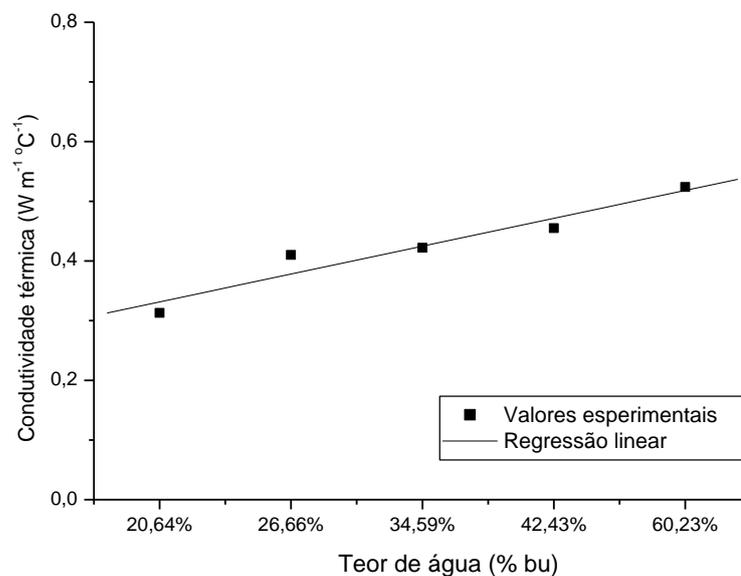


Figura 4: Valores experimentais e estimados da difusividade térmica real de sementes de jaca em função do teor de água.

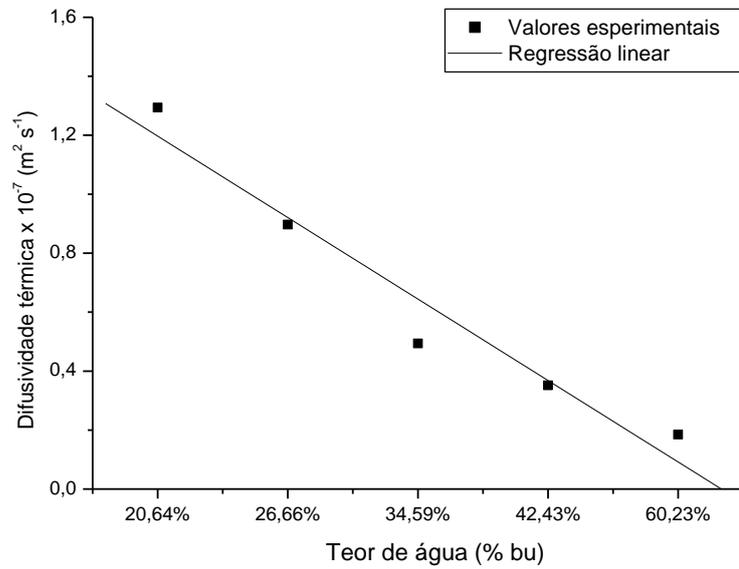
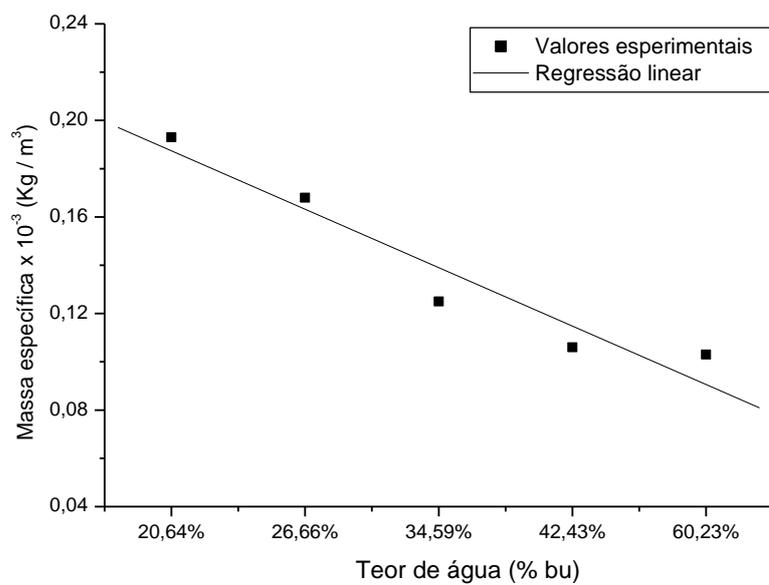


Figura 5: Valores experimentais e estimados da massa específica real de sementes de jaca em função do teor de água.



A difusividade térmica real foi calculada utilizando-se a Equação 3 a partir dos dados experimentais das demais propriedades termofísicas. A Tabela 3 apresenta os

valores obtidos e o erro percentual entre a difusividade térmica real calculada e a obtida experimentalmente.

Tabela 3. Difusividade térmica real, experimental e calculada e o erro percentual entre estes valores, de sementes de jaca, na temperatura ambiente.

Teor de Água (% b.u.)	Difusividade $\times 10^{-7}$ ($m^2 s^{-1}$)	Difusividade Calculada $\times 10^{-7}$ ($m^2 s^{-1}$)	ERRO (%)
20,64%	1,294	1,1829	9,40%
26,66%	0,897	0,9040	0,77%
34,59%	0,494	0,5655	12,64%
42,43%	0,352	0,3812	7,66%
60,23%	0,185	0,1945	4,88%

Na literatura especializada não há trabalhos sobre propriedades termofísicas real de sementes de frutas tropicais, por esta razão a avaliação comparativa foi realizada com os dados aparente destas propriedades.

CONCLUSÃO

Os dados experimentais das propriedades termofísicas real das sementes de jaca, em função do teor de água (b.u.) podem ser representados satisfatoriamente por um modelo de regressão linear do tipo $k = A + B T$. O calor específico real e a condutividade térmica real, de sementes de jaca aumentam linearmente com o aumento do teor de água. A difusividade térmica real e a massa específica real, de sementes de jaca diminuem linearmente com o aumento do teor de água.

Os dados experimentais obtidos foram satisfatórios quando comparados com os valores existentes na literatura, de propriedades termofísicas de sementes.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos gerais ao programa de iniciação científica da UFCG, PIVIC/UFCG.

REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORREA, P.C.; PINTO, F. DE A.C.; NARDELLI, P.M. Propriedades termofísicas dos frutos e sementes de café: determinação e modelagem. **Revista Brasileira de Armazenamento (Brasil)**. (n.4) p. 9-15., 2002.

ALVES F. M. S.; MACHADO A. V.; QUEIROGA K. H. Alimentos produzidos a partir de farinha de caju, obtida por secagem. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.3, p.131-138, 2011.

AMIN A.; KHAN M. A.; ZAMAN A.; SHAH A. H.; HAROON U.; AZAM S. M. F.; YASIN M. Physical adsorption immobilization of antimicrobial peptide (bacitracin) producing bacillus strain GU215 on polystyrene film, **African Journal of Microbiology Research** Vol. 5(27), pp. 4845-4849, 23, November, 2011.

ANDRADE, E. T.; COUTO, A. M.; QUEIROZ, D. M.; PEIXOTO, A. B. Determinação de propriedades térmicas de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, p. 488-498, 2004.

BARYEH, E. A. Physical properties of millet. **Journal of Food Engineering**, London, v. 51, p. 39-46, 2002.

BORÉM, F. M.; RIBEIRO, R. C. M. S.; CORRÊA, P. C.; PEREIRA, R. G. F. A. Propriedades térmicas de cinco variedades de café cereja descascado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.475-480, 2002.

BRASIL. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 2005.

CARVALHO, A. D'A.; LOVATTO, P. A.; HAUSCHILD, L.; ANDRETTA, I.; LEHNEN, C. R.; ZANELLA, I. Processing of full-fat soybean and the use in diets for pigs: digestibility and metabolism. **Rev. Bras. Zootecnia**, 36 (6 Supplement): 2023-2028, 2007.

CORRÊA, P. C.; ANDRADE, E. T.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Propriedades térmicas da massa granular de milho, alpiste e painço; Determinação e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.37-43, 2004.

GAMA M. J. A.; MATA M. E. R. M. C.; DUARTE M. E. M.; ARAGÃO R. F.; FARIAS P. A. Difusividade térmica aparente de sementes de cajá em temperaturas acima do congelamento até ultrabaixas temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.3, p.303–308, 2012.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 5ª edição, 2003, 691p.

MOURA S. C. S. R.; FRANÇA V. C. L.; LEAL A. M. C. B. Propriedades termofísicas de soluções modelos similares a sucos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Lavras, v.25. p. 454-459, 2005.

RIBEIRO D. M.; CORREA P. C.; RESENDE O, BOTELHO F. M. Propriedades térmicas de grãos de trigo: Determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, p.462-467, 2007.

SANTIAGO, M.M. D.; ROCHA, M.B. O mercado de frutas e as estimativas dos preços recebidos pelos fruticultores no Estado de São Paulo, 1990-2000. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.31, n.2, 2001.

SILVEIRA, A. P. D.; GOMES, V. F. F. Micorrizas arbusculares em plantas frutíferas tropicais. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS. S. S. (Ed.) **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 57-78, 2007.