

ENTALPIA DE VAPORIZAÇÃO DA BANANA-PASSA E DA CASCA DA BANANA

EDNILTON TAVARES DE ANDRADE¹, EDUARDO HENRIQUE BECKMAN², MAURÍCIO JOSÉ AZEVEDO PINTO DOS SANTOS³

¹ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, UFF, Niterói-RJ, (0XX21) 2629.5594, e-mail: edniltontavares@click21.com.br.

² Estudante de Engenharia Agrícola, UFF, Niterói-RJ.

³ Estudante de Engenharia Agrícola, UFF, Niterói-RJ.

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 04 de agosto de 2006 - João Pessoa – PB

RESUMO: Objetivo deste trabalho foi determinar a energia necessária para o processo de secagem da banana-passa e da casca da banana, determinou-se também a curva isostérica de sorção em função do teor de água de equilíbrio do produto, obtidos por meio da isoterma de sorção. A casca da banana apresentou uma menor variação da energia necessária para a retirada de água (2537 a 2660 kJ kg⁻¹), em comparação com a banana-passa (2918 a 3850 kJ kg⁻¹), nas faixas de teor de água de 0,20 a 0,12 (b.s.).

PALAVRAS-CHAVE: CURVA ISOSTÉRICA, BANANA-PASSA, CASCA DA BANANA

ENTHALPY OF VAPORIZATION OF THE BANANA AND OF THE PEEL OF THE BANANA

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the necessary energy for the process of drying of the banana and of the peel of the banana, it was also determined the isosteric sorption curve in function of the moisture content of the product, obtained by means of the sorption isotherm. The peel of the banana presented a smaller variation of the necessary energy for the remove of water (2537 to 2660 kJ kg⁻¹), in comparison to the banana (2918 to 3850 kJ kg⁻¹), in the moisture content among 0,20 to 0,12 (b.s.).

KEYWORDS: ISOSTERIC CURVE, BANANA, PEEL OF THE BANANA

INTRODUÇÃO: Uma das primeiras regras de processamento de alimentos ou preservação é converter alimentos perecíveis tais como frutas e vegetais em produtos estáveis que podem ser armazenados por longos períodos de tempo, reduzindo dessa forma suas perdas. Operações de desidratação têm sido usadas por décadas em indústrias de processamento alimentar e químico para uma eficiente preservação dos produtos finais por longos períodos. A diminuição da atividade de água com a desidratação da fruta contribui para a conservação e o consequente uso prolongado da fruta. Além disso, com a redução de peso e volume, devido à perda de água, diminuem o tamanho da embalagem, o volume de armazenagem e o custo de transporte do produto, estando ele a temperatura ambiente. As pesquisas atuais buscam cada vez mais o uso eficiente de energia, e para se elaborar projetos de secadores, é necessário saber a real necessidade energética para remoção de água do produto a fim de otimizar e diminuir os gastos em energia. Nas mesmas condições de pressão e temperatura, a energia necessária para remover a água associada a um material higroscópico é maior do que para vaporizar igual quantidade de água livre, isso se deve as forças de ligação entre a água e a superfície das substâncias adsorventes (Wang e Brennan, 1991). Essa energia adicional necessária é chamada de calor isostérico de desorção, muito importante para se estimar a quantidade mínima de calor requerida para remover a água do produto, além de fornecer dados sobre o estado da água no produto (Wang e Brennan, 1991).

MATERIAL E MÉTODOS : Esse trabalho foi realizado com base nos dados das curvas higroscópicas da banana-passa e da casca da banana obtidas no estudo de Beckman e Andrade (2006). Os experimentos, foram desenvolvidos com bananas nanicas maduras adquiridas no comercio local, as quais se encontravam completamente amarelas, com áreas café no estádio de cor 7 (Chitarra e Chitarra, 1990), que são ideais e para fabricação da banana-passa. Os modelos matemáticos que melhor representaram o fenômeno de higroscopicidade da banana-passa e da casca da banana são:

$$Ue = \exp\{4,0244 - (0,0060T) + [1,3685 \exp(a_w)]\} \quad Ue = [\exp(-2,7847 - 0,0222T) / -\ln(a_w)]^{0,5171}$$

Sigma-Copace para a casca da banana (1) Halsey Modificado para a banana-passa (2)

Considerou-se a atividade de água como sendo igual (em decimal) a umidade relativa, conforme Sauer (1995). Para ajuste do modelo matemático aos dados obtidos por Beckman e Andrade (2006), a fim de estimar seus parâmetros, realizou-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando-se o programa STATISTICA 5.0. Para o cálculo do calor isostérico líquido de desorção utilizou-se a equação de Clausius-Clapeyron, dada a seguir:

$$\frac{\partial \ln(a_w)}{\partial T} = \frac{q_{st}}{RT^2} \quad (3)$$

em que,

a_w : atividade de água, decimal;

T: temperatura absoluta, K;

q_{st} : calor isostérico líquido de sorção, kJ kg^{-1} ;

R: constante universal dos gases, $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, sendo para o vapor d'água $0,4619 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

De acordo com Wang e Brennan (1991), depois da integração da equação de Clausius-Clapeyron, assumindo que o calor isostérico líquido de desorção é independente ou varia muito pouco com a temperatura, tem-se a seguinte equação:

$$\ln(a_w) = -\left(\frac{q_{st}}{R}\right) \frac{1}{T} + C \quad (4)$$

em que,

C: coeficiente do modelo.

O cálculo dos valores do calor isostérico líquido de desorção (q_{st}), foi determinado através das inclinações das curvas do gráfico ($\ln(a_w) \times 1/T$) para diversos teores de água de equilíbrio (b.s.), de acordo com a Equação 4. A partir dessa equação, foram obtidos os valores de q_{st} para cada teor de água estudado. Segundo Brooker et al. (1992), as curvas de isoterma de sorção dos produtos biológicos fornecem informações necessárias para o cálculo do calor isostérico integral de sorção, uma vez que para um dado teor de água de equilíbrio, a determinada temperatura, tem-se uma umidade relativa de equilíbrio ou atividade de água correspondente. De acordo com a Equação 5, o calor isostérico integral de sorção é obtido adicionando-se o valor de calor latente de vaporização da água livre ao calor isostérico líquido.

$$Q_{st} = q_{st} + L = a \exp(-b Ue) + L \quad (5)$$

em que,

Q_{st} : calor isostérico integral de sorção, kJ kg^{-1} ;

L: calor latente de vaporização da água livre, kJ kg^{-1} ;

Ue : teor de água de equilíbrio, b.s.;

a, b: coeficientes do modelo.

A partir dessa equação, calculou-se os valores do calor isostérico integral de desorção (Q_{st}). O calor latente de vaporização da água livre (kJ kg^{-1}), necessário ao cálculo de Q_{st} , foi obtido utilizando-se a temperatura média (T) na faixa de estudo de 46°C , através da expressão ($L = 2502,2 - 2,39 T$), resultando no valor de $2391,663 \text{ kJ kg}^{-1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÕES: Para fins de cálculo do calor isostérico líquido foram determinados, a partir dos modelos matemáticos e dos parâmetros que melhor se ajustaram para representar o fenômeno da higroscopicidade da banana-passa e da casca da banana, os valores do logaritmo neperiano da atividade de água em função do teor de água de equilíbrio para cada temperatura (Tabela 1), com o teor de água (Ue) variando de 0,12 a 0,30 (b.s.) e a temperatura de 20 a 70°C .

Tabela 1. Valores de $\ln(a_w)$ estimados pelo modelo de Halsey Modificado e Sigma-Copace em função da temperatura e do teor de água de equilíbrio da banana-passa e da casca da banana, respectivamente.

Ue (b.s.)	Banana-passa				Casca da banana			
	20°C	40°C	55°C	70°C	20°C	40°C	55°C	70°C
0,12	-2,3886	-1,5309	-1,0966	-0,7855	-1,1617	-0,9818	-0,8710	-0,7753
0,125	-2,2073	-1,4147	-1,0134	-0,7259	-1,0849	-0,9209	-0,8186	-0,7295
0,13	-2,0461	-1,3114	-0,9393	-0,6729	-1,0182	-0,8673	-0,7721	-0,6885
0,135	-1,9020	-1,2191	-0,8732	-0,6255	-0,9597	-0,8195	-0,7303	-0,6514
0,14	-1,7729	-1,1363	-0,8139	-0,5830	-0,9077	-0,7766	-0,6925	-0,6178
0,145	-1,6566	-1,0617	-0,7605	-0,5448	-0,8611	-0,7378	-0,6581	-0,5871
0,15	-1,5514	-0,9943	-0,7123	-0,5102	-0,8190	-0,7025	-0,6267	-0,5588
0,155	-1,4561	-0,9333	-0,6685	-0,4789	-0,7807	-0,6701	-0,5978	-0,5328
0,16	-1,3694	-0,8777	-0,6287	-0,4503	-0,7458	-0,6404	-0,5711	-0,5086
0,165	-1,2903	-0,8270	-0,5924	-0,4243	-0,7136	-0,6128	-0,5464	-0,4862
0,17	-1,2179	-0,7806	-0,5591	-0,4005	-0,6839	-0,5873	-0,5233	-0,4652
0,175	-1,1515	-0,7380	-0,5287	-0,3787	-0,6564	-0,5635	-0,5018	-0,4456
0,18	-1,0905	-0,6989	-0,5006	-0,3586	-0,6308	-0,5413	-0,4816	-0,4271
0,185	-1,0342	-0,6628	-0,4748	-0,3401	-0,6069	-0,5205	-0,4626	-0,4098
0,19	-0,9822	-0,6295	-0,4509	-0,3230	-0,5845	-0,5009	-0,4448	-0,3934
0,195	-0,9341	-0,5987	-0,4288	-0,3072	0,5635	-0,4824	-0,4279	-0,3779
0,2	-0,8894	-0,5701	-0,4083	-0,2925	-0,5437	-0,4650	-0,4119	-0,3632

Na Figura 1, são apresentadas as curvas do logaritmo neperiano da atividade de água em função do inverso da temperatura absoluta ($1/T, K^{-1}$) para diversos valores de teor de água de equilíbrio (b.s.) da banana-passa e da casca da banana, e as suas devidas equações lineares.

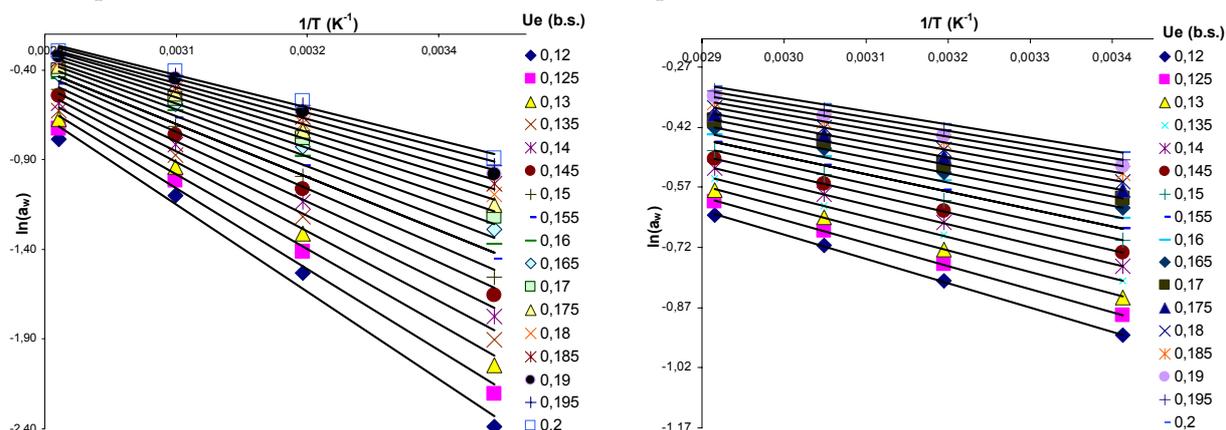


Figura 1 Valores experimentais e estimados do calor isostérico líquido de dessorção em função do teor de água de equilíbrio da banana-passa e da casca da banana, respectivamente.

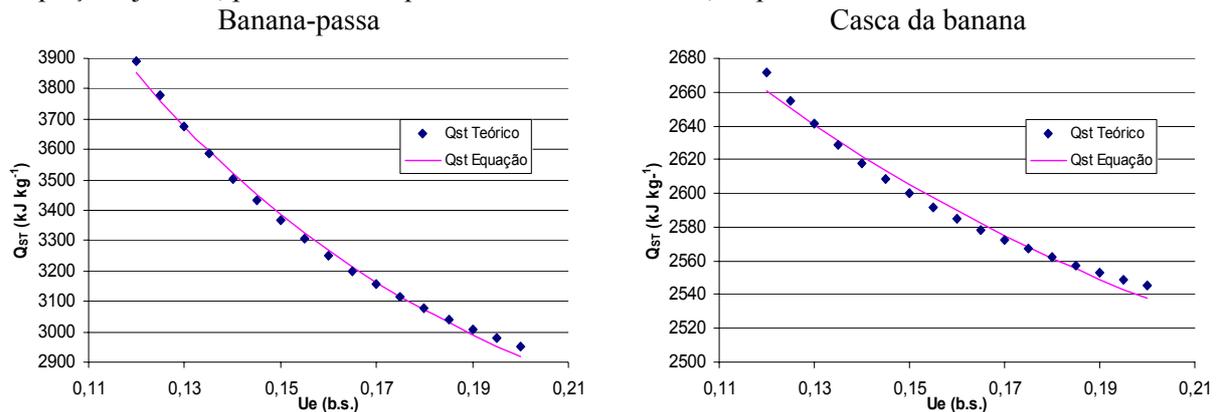
Calculou-se através da inclinação da reta (Equação 4) os valores do calor isostérico líquido de dessorção (q_{st}) de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Valores do calor isostérico líquido de sorção para diferentes teores de água de equilíbrio da banana-passa.

Ue (b.s)	q_{st} (kJ kg ⁻¹)	Ue (b.s)	q_{st} (kJ kg ⁻¹)
0,12	1498,9	0,12	279,66
0,125	1385,1	0,125	263,49
0,13	1284	0,13	249,46
0,135	1193,6	0,135	237,18
0,14	1112,5	0,14	226,34
0,145	1039,6	0,145	216,68
0,15	973,59	0,15	208,03
0,155	913,78	0,155	200,23
0,16	859,36	0,16	193,16
0,165	809,71	0,165	186,72

0,17	764,26	0,17	180,83
0,175	722,6	0,175	175,42
0,18	684,3	0,18	170,43
0,185	648,97	0,185	165,81
0,19	616,36	0,19	161,52
0,195	586,15	0,195	157,53
0,2	558,16	0,2	153,81

Para a determinação calor isostérico integral de sorção (Q_{st}), em kJ kg^{-1} , foram adicionados, aos valores de q_{st} , o valor do calor latente de vaporização da água livre (L). Na Figuras 3 são apresentados os valores do calor isostérico integral de desorção (Q_{st}), em kJ kg^{-1} , a uma temperatura media de 46°C , em função do teor de água de equilíbrio (b.s.) estimados de acordo com a Equação 5, juntamente com a equação ajustada, para a banana-passa e a casca da banana, respectivamente.



$$Q_{ST} = 6734,3208 \exp(-12,7438 Ue) + 2391,6625 \quad R^2 = 0,9953$$

$$Q_{ST} = 671,4555 \exp(-7,6326 Ue) + 2391,6625 \quad R^2 = 0,98218$$

Figura 3 Valores experimentais e estimados do calor isostérico integral de sorção em função do teor de água de equilíbrio da banana-passa.

CONCLUSÃO: Conforme observado em diversos produtos agrícolas, com a redução do teor de água tanto na banana-passa como na casca da banana, ocorreu o aumento de energia necessária para a remoção de água do produto. A quantidade de energia necessária para a remoção da água da casca da banana foi menor com o mesmo teor de água em relação à mesma energia necessária para a remoção de água da banana-passa. A casca da banana apresentou uma menor variação da energia necessária para a retirada de água (2537 a 2660 kJ kg^{-1}), em comparação com a banana-passa (2918 a 3850 kJ kg^{-1}), nas faixas de teor de água de $0,20$ a $0,12$ (b.s.).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKMAN, EDUARDO H.; ANDRADE, EDNILTON T. **Projeto Final do Curso de Engenharia Agrícola**, UFF, Niterói, RJ. 2006.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport : AVI, 1992. 450p.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320p.

SAUER, D.B. **Storage of Cereal Grains and Their Products**. Fourth Edition. Ed. American Association of Cereal, Inc. 1995. 615p.

WANG, N.; BRENNAN, J.G. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, v.14, n.1, 1991.