



Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju¹

Siumara R. Alcântara², Francisco de A. C. Almeida³, Flávio L. H. da Silva⁴ & Josivanda P. Gomes³

RESUMO

A atividade de água constitui um fator importante no processo de fermentação semi-sólida, haja vista sua relação com a quantidade de água disponível ao microrganismo responsável pelo metabolismo do produto, sendo necessário à obtenção de isotermas de sorção para caracterização do substrato. Ante o exposto, objetivou-se a construção das isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju (*Anacardium occidentale* L.) nas temperaturas usuais de fermentação (25, 30, 35 e 40 °C). Ajustaram-se as isotermas com os modelos de BET, GAB, Oswin, Henderson e Smith. Observou-se que o modelo de GAB apresentou melhor ajuste, de vez que, na faixa de atividade de água que maximiza a biossíntese do microrganismo, para produção de pectinases por *Aspergillus niger*, a umidade do substrato deve estar acima de 35% b.s.

Palavras-chaves: atividade de água, *Anacardium occidentale* L., fermentação semi-sólida, pectinase, *Aspergillus niger*

Adsorption isotherms of the dry cashew apple

ABSTRACT

Water activity is a very important factor in a solid state fermentation process due to its relation with the water quantity available to the microorganism that will synthesize the product. Therefore, it is necessary to obtain the sorption isotherms for the characterization of the substrate. The objective of this study is to obtain adsorption isotherms of the dry cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) at normal temperatures of fermentation process (25, 30, 35 e 40 °C). Five mathematical models were fitted to the experimental data: BET, GAB, Oswin, Henderson e Smith. The GAB model was better fitted to the product. The isotherms allowed the determination of the appropriate moisture content to obtain the water activities that maximize the biosynthesis of the microorganism for the pectin production by solid state fermentation process. The moisture content of the substrate should be above 35% d.b.

Key words: water activity, *Anacardium occidentale* L., solid state fermentation, pectinase, *Aspergillus niger*

¹ Parte da Dissertação do primeiro autor ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFG.

² Mestre em Engenharia Agrícola. Fone: (83) 3310-1550. E-mail: siumara_alcantara@yahoo.com.br

³ UAEA/UFMG. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58109-970 Campina Grande, PB. Fone: (83) 3310-1185. E-mail: almeida@deag.ufcg.edu.br; josi@deag.ufcg.edu.br

⁴ UAEQ/UFMG. Fone: (83) 3310-1652. E-mail: flavioluizh@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O cajueiro, árvore nativa do Brasil, principalmente das regiões Norte e Nordeste, se espalham para outros países, como Moçambique, Índia, Angola e Quênia, desde o século XVI (Assunção & Mercadante, 2003). São encontradas no Brasil duas variedades de pseudofruto, uma com a pele de cor amarela e outra de cor vermelha, mas ambas com a mesma polpa amarela pálida.

O principal produto do caju (*Anacardium occidentale* L.) é a castanha, da qual se extrai o óleo, contendo o ácido anacárdico (90%) e dois fenóis (10%), muito empregado na indústria de plásticos, isolantes, vernizes, inseticidas, entre outros (Moura, 2001). O suco é processado do pseudofruto, e é considerado um resíduo pela indústria da castanha.

O consumo do pseudofruto fresco ainda é limitado apesar do suco ser amplamente aceito pela população. Kiss (2005) relata que em 2005 o Brasil produziu 1,8 milhão de toneladas de caju, da qual somente 15% do pseudofruto foi utilizado pela indústria na produção de suco.

Todo esse desperdício se deve ao fato do pedúnculo in natura ser altamente perecível, já que possui uma casca muito frágil, o que dificulta o seu manuseio e o transporte das áreas de produção aos mercados de consumo ou a indústria. Além disso, o pedúnculo possui, sobre sua casca, uma mucilagem na qual se fixam os fungos, dando-lhes condições propícias para seu desenvolvimento, sendo favorecido pelas condições elevadas de temperatura e umidade relativa do ar, como se verifica nas regiões produtoras (Moura et al., 2004).

Não apenas a cultura do caju, mas os setores agroindustriais e de alimentos, produzem grandes quantidades de resíduos sólidos, que, por sua vez, podem constituir sérios problemas de disposição final e possuir potencial poluente, por representarem, muitas vezes, perda de biomassa e nutrientes de alto valor (Pinto et al., 2006).

Neste contexto, a fermentação semi-sólida (FSS) vem apresentando um papel de destaque no aproveitamento desses resíduos e na síntese de diversos compostos, dos quais muitos se tornam atraentes para os segmentos industriais, além de possuírem alto valor agregado.

Dentre os produtos obtidos através da FSS citados na literatura, tem-se as enzimas, com destaque para as pectinases. Este tipo de enzima é amplamente utilizado na indústria de alimentos, principalmente, na extração, clarificação e despectinização de sucos de frutas (Santos et al., 2005).

Visto tratar-se de substrato sólido, a água presente no sistema é um fator importantíssimo, e esta quantidade de água está relacionada com o meio, através de duas variáveis: a umidade e a atividade de água.

A umidade diz respeito à percentagem de água na massa total do meio. E a determinação do seu valor no processo está intimamente relacionada com a natureza do substrato, as necessidades do microrganismo utilizado e o tipo de produto final desejado (del Bianchi et al., 2001; Pinto et al., 2006). A atividade de água indica se o microrganismo poderá crescer através da fermentação, garantindo a qualidade do produto. Santin (1996) afirma que o crescimento dos microrganismos depende da atividade de água, em razão da influ-

ência da pressão osmótica sobre as trocas através das membranas. E pode ser relacionada à umidade do substrato utilizado na fermentação através de isotermas de sorção para uma dada temperatura.

Além da utilização das isotermas de sorção no estudo da FSS, o conhecimento e a compreensão das isotermas dos alimentos são de grande importância na área de tecnologia e de ciências dos alimentos para a resolução de muitos problemas, como avaliação e caracterização das ligações da água; análise do calor de sorção; otimização de processos de secagem; avaliação de problemas de estocagem e embalagem e na estimativa da estabilidade microbiológica, química e física dos alimentos (Ditchfield, 2000).

É importante ressaltar que não existe uma equação geral para as isotermas de alimentos uma vez que a atividade de água depende bastante da sua composição e da interação dos diferentes constituintes com a água em condições de equilíbrio termodinâmico (Welti-Chanes & Vergara, 1997). Numerosas equações matemáticas que descrevem isotermas de sorção são encontradas na literatura, dentre as quais se destacam as de Brunauer-Emmer-Teller (Brunauer et al., 1938) e Guggenheim-Anderson-de Boer (van den Berg, 1985).

De acordo com tudo o que foi relatado até o presente, tem-se que, para a utilização racional do pedúnculo do caju, pesquisas devem ser desenvolvidas no sentido de se buscar alternativas viáveis que valorizem a cultura dessa fruta, aumentando sua importância para o desenvolvimento da região Nordeste, mediante a obtenção de um bioproduto industrial com alto valor agregado, como a pectinase, e incidindo em auxílio à redução da poluição ambiental.

Propôs-se, neste estudo, determinar as isotermas de adsorção do bagaço seco do pedúnculo do caju nas temperaturas usuais de fermentação e o ajuste dessas isotermas com diversas equações encontradas na literatura, visando à caracterização do bagaço para posterior utilização do mesmo como substrato em processo de FSS para produção de enzimas.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparação do resíduo

O resíduo foi obtido a partir do caju in natura, adquirido na Empresa de Abastecimento de Serviços Agrícolas (EMPASA) da cidade de Campina Grande, PB.

Inicialmente, se lhe retirou a castanha; em seguida, o pedúnculo foi triturado com em liquidificador da Marca Walita e modelo RI2030 e prensado manualmente para separação do suco; o bagaço úmido foi seco em estufa com circulação de ar a 55 °C. Após a secagem, o bagaço foi moído em moinho de facas da marca Tecnal. A distribuição granulométrica mostrou que 60% do resíduo ficaram retidos nas malhas 24 e 35 mesh, o que corresponde aos tamanhos de 0,7 e 0,42 mm.

Método estático

Amostras em triplicata foram pesadas com aproximadamente 1 g do produto em cadinhos de alumínio e armazenadas em recipientes herméticos contendo soluções salinas saturadas, até alcançarem a umidade de equilíbrio para uma

determinada faixa de umidade relativa (Tabela 1). As temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C foram fornecidas por câmara tipo B.O.D. modelo 347. As amostras foram pesadas a cada 24 h; alcançada a massa constante, estas foram levadas à estufa Marca Fanem e Modelo 320-SE a 100 °C, para determinação da massa seca. As umidades de equilíbrio (x_{eq}) foram calculadas pela Eq. 1.

$$x_{eq} = \frac{m_i - m_s}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

em que:

- x_{eq} – umidade no equilíbrio, % base seca
- m_i – massa inicial da amostra, g
- m_s – massa seca da amostra, g

Tabela 1. Umidade relativa de equilíbrio de soluções saturadas de sais

Soluções Salinas Saturadas	Umidade Relativa (%)			
	Temperatura (°C)			
	25	30	35	40
K(C ₂ H ₃ O ₂)	23	23	23	23
MgCl ₂	33	32	32	31
K ₂ CO ₃	43	42	41	40
NaBr	57	57	57	57
NaCl	75	75	75	75
KCl	86	84	84	83

Fonte: (Rockland, 1960)

Modelos para ajuste das isotermas

Para ajuste dos dados experimentais foram utilizados os seguintes modelos:

$$\text{BET (Brunauer et al., 1938)} \quad \frac{x}{x_m} = \frac{C \cdot aw}{1 - aw} \left[\frac{1 - (n + 1)(aw)^n + n(aw)^{n+1}}{1 - (1 - C)aw - C(aw)^{n+1}} \right] \quad (2)$$

$$\text{GAB (van den Berg, 1985)} \quad x = \frac{x_m \cdot C_G \cdot k \cdot aw}{(1 - k \cdot aw)(1 - k \cdot aw + C_G \cdot k \cdot aw)} \quad (3)$$

$$\text{Oswin (Lomauro et al., 1985)} \quad x_{eq} = a \left(\frac{aw}{1 - aw} \right)^b \quad (4)$$

$$\text{Henderson (Henderson, 1952)} \quad x_{eq} = \left(- \frac{\ln(1 - aw)}{a} \right)^{1/b} \quad (5)$$

$$\text{Smith (Smith, 1947)} \quad x_{eq} = a + b \cdot \log(1 - aw) \quad (6)$$

em que:

- x_{eq} – umidade de equilíbrio, % em base seca
- aw – atividade de água, adimensional
- C – constante de BET
- X_m – umidade na monocamada molecular, % base seca
- n – número de camadas moleculares
- C_G e k – constantes de adsorção que estão relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subseqüentes em sítio de sorção (Araújo et al., 2005)
- a e b – parâmetros que dependem da temperatura e da natureza do produto

Com esses modelos foram feitas regressões não-lineares. Os critérios utilizados para a escolha do melhor ajuste fo-

ram o coeficiente de determinação (R^2) entre as respostas observadas e os valores preditos pelo modelo ajustado e o desvio percentual médio (P) (Eq. 2). Os melhores ajustes foram os que apresentaram maior R^2 e menor valor de P (Santos et al., 2004).

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_{exp} - X_{teo}|}{X_{exp}} \quad (7)$$

em que:

- n – número de observações
- X_{exp} – umidade experimental do material
- X_{teo} – umidade calculada através dos modelos ajustados

Foi avaliada, ainda, a distribuição dos valores residuais em relação aos valores preditos dos modelos ajustados para as isotermas de adsorção nas temperaturas observadas. Para que os ajustes sejam confiáveis, é necessário que esta distribuição seja aleatória, ou seja, os pontos devem estar distribuídos de forma aleatória de modo a caracterizar uma variância constante dos erros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 se encontram os dados de atividade de água (aw) e os valores médios de umidade de equilíbrio do material (x_{eq}) nas temperaturas estudadas. A estes dados foram ajustados os modelos de BET, GAB, Oswin, Henderson e Smith.

Tabela 2. Valores de atividade de água (aw) e umidade de equilíbrio (x_{eq}) do pedúnculo de caju seco

Temperatura (°C)	aw	x_{eq} (% b.s)
25	0,23	5,75
	0,33	7,20
	0,43	9,21
	0,57	12,18
	0,75	20,76
	0,86	29,42
30	0,23	5,31
	0,32	7,10
	0,42	9,22
	0,57	11,77
	0,75	20,82
	0,84	27,95
35	0,23	8,35
	0,32	9,66
	0,41	11,49
	0,57	13,64
	0,75	23,20
	0,84	30,29
40	0,23	7,35
	0,31	9,04
	0,40	11,16
	0,57	12,98
	0,75	21,86
	0,83	28,27

Na Tabela 3 se encontram os valores dos parâmetros, do desvio percentual médio (P), do coeficiente de determinação (R^2) para cada temperatura, e o resultado da avaliação da distribuição dos valores residuais, comparando-os com os valores preditos para cada modelo, cuja distribuição pode ser observada na Figura 1.

Tabela 3. Parâmetros de ajuste das isotermas de adsorção do pedúnculo do caju seco aos modelos testados

Modelo	Temperatura (°C)				
	25	30	35	40	
BET	X_m	5,64	5,61	6,33	6,07
	C	12,59	11,28	39,72	49,85
	n	14,39	15,02	13,35	13,18
	R^2	0,9998	0,9986	0,9948	0,9941
	P (%)	0,86	2,70	4,79	4,11
Distribuição tendenciosa					
GAB	X_m	7,35	6,95	7,14	6,81
	C	5,64	6,00	49,22	33,21
	k	0,8886	0,9104	0,9137	0,9180
	R^2	0,9989	0,9983	0,9971	0,9962
	P (%)	1,97	2,34	2,13	3,53
Distribuição aleatória					
Oswin	a	10,87	10,72	13,41	12,73
	b	0,5539	0,5811	0,4865	0,4946
	R^2	0,9983	0,9979	0,9930	0,9929
	P (%)	2,17	2,63	4,51	4,43
	Distribuição aleatória				
Henderson	a	0,0490	0,0509	0,0217	0,0238
	b	1,10	1,08	1,31	1,31
	R^2	0,9945	0,9926	0,9812	0,9816
	P (%)	5,57	1,94	7,64	7,94
	Distribuição não aleatória				
Smith	a	0,9188	0,7552	2,49	2,28
	b	-33,12	-33,69	-34,82	-33,42
	R^2	0,9947	0,9931	0,9746	0,9744
	P (%)	5,19	6,11	8,00	8,72
Distribuição não aleatória					

A partir da Tabela 3, tem-se que todos os modelos se ajustaram de forma adequada aos dados experimentais, pois o valor de P indica um bom ajuste quando é inferior a 10%, enquanto R^2 deve ser o mais próximo da unidade (Lomauro et al., 1985). O modelo que melhor se ajustou foi o de GAB, seguido de BET; já o que apresentou maiores valores de P e menores valores de R^2 foi o modelo de Smith, com a distribuição não aleatória, sendo então o ajuste não confiável estatisticamente.

Pode-se observar também que na temperatura de 25 °C o modelo de BET apresentou valor de R^2 mais próximo da unidade e valor de P menor que o modelo de GAB para a mesma temperatura revelando, assim, que, para esta temperatura em especial, o modelo de BET seja o mais indicado para o ajuste dos dados apresentados.

Constata-se que o valor do parâmetro da equação de GAB, X_m , em que este representa a umidade na monocamada do material adsorvente, não apresentou tendência definida em relação à temperatura, porém k teve pequeno acréscimo com

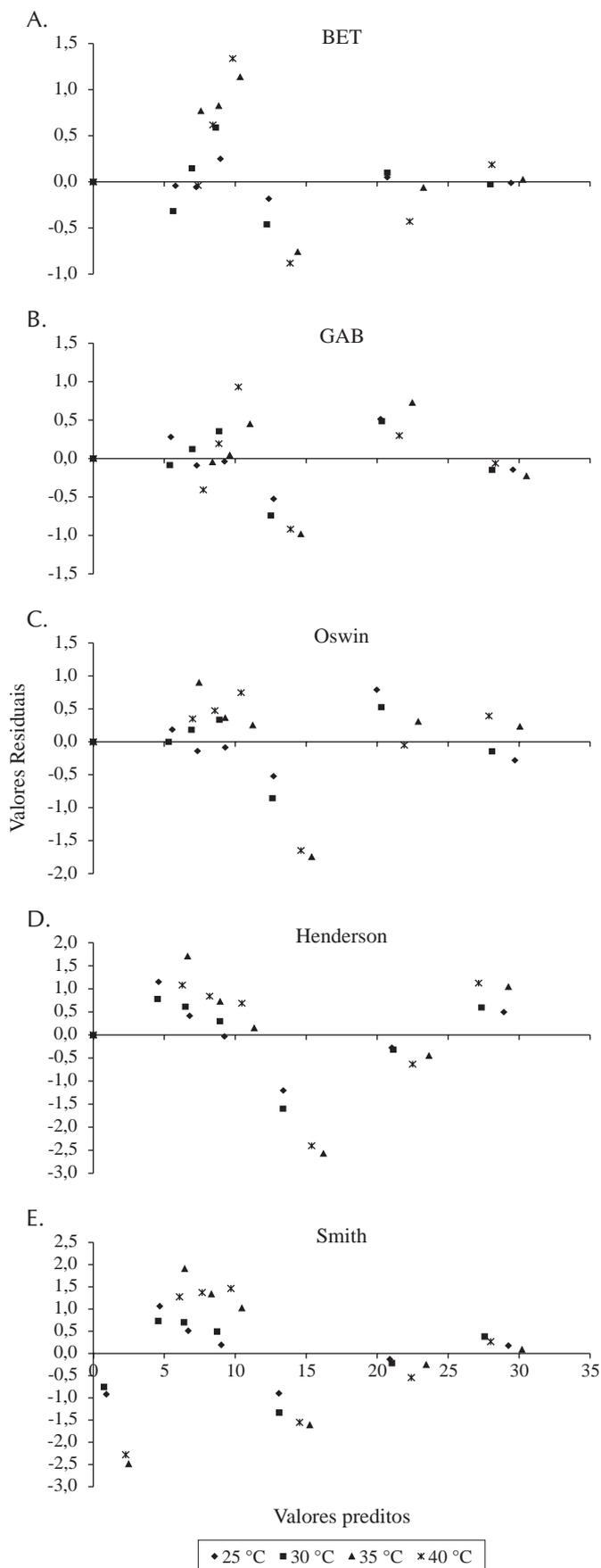


Figura 1. Valores residuais em função dos valores preditos para os modelos de BET (A), GAB (B), Oswin (C), Henderson (D) e Smith (E)

o aumento da temperatura e C_G aumentou quando passou do intervalo de 25-30 °C para 35-40 °C.

Quando se comparam os valores das umidades equivalentes à monocamada através da equação de BET, nota-se que, da faixa de 25-30 °C para 35-40 °C, a umidade X_m teve um aumento de aproximadamente 0,4%. Segundo Ferreira & Pena (2003), este não é um comportamento comum, mas pode ser justificado através de dois mecanismos: pelo aumento da temperatura, pode provocar modificações na estrutura física do produto, disponibilizando um número maior de sítios ativos, com afinidade por moléculas de água, ou pode provocar um aumento na solubilidade de solutos intrínsecos ao produto, fazendo com que um número maior de moléculas de água fique retido na monocamada.

Todos os parâmetros mencionados para os modelos de Henderson e de Oswin (Tabela 3) se encontram dentro do esperado, uma vez que Blahovec (2004) afirma que o modelo de Henderson deve apresentar $a > 0$ e $b \geq 1$ e, para o modelo de Oswin, $a > 0$ e $1 \geq b > 0$. Ter referidos parâmetros dentro desses intervalos, indica que não há ponto de inflexão na curva e, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções; logo, esses parâmetros possuem consistência matemática e física.

Observa-se, a partir da Figura 1, que a distribuição de resíduos para o modelo de BET (Figura 1A) apresenta comportamento tendencioso em virtude da distribuição de alguns pontos superiores a esquerda; logo, este modelo representa os dados experimentais com valores residuais maiores, de modo que se torna pouco satisfatório quanto ao ajuste. Para os modelos de Henderson (Figura 1D) e Smith (Figura 1E) a distribuição não foi aleatória; para os modelos de GAB (Figura 1B) e Oswin (Figura 1C), constata-se que eles possuem distribuição aleatória, sendo então confiáveis para representar o ajuste dos dados experimentais.

Observando-se a distribuição de resíduos (Figura 1) e a Tabela 3, pode-se dizer que o modelo que melhor ajusta os dados experimentais das isotermas é o de GAB; já na Figura 2 se encontra o gráfico do ajuste do modelo de GAB e se observa que as curvas de 25 e 30 °C se sobrepõem, indicando um comportamento semelhante no que se refere à adsorção de água para essas suas temperaturas, caso em que essa diferença (5 °C) não apresentou influência da temperatura nestas isotermas, diferentemente das curvas de 35 e 40 °C, em

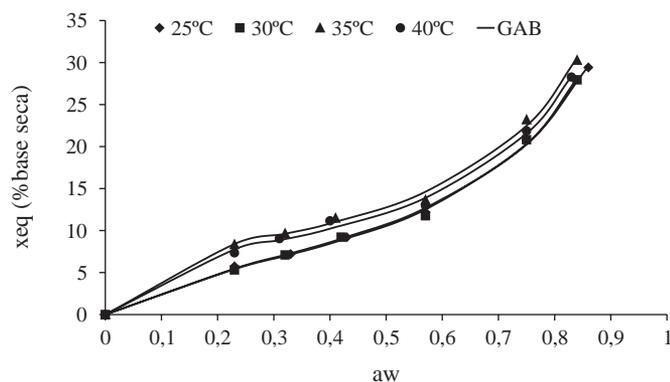


Figura 2. Modelo de GAB para as isotermas de adsorção do pedúnculo do caju seco

que se observa pequena, porém, clara influência desta variável. Observa-se ainda um efeito maior da temperatura do intervalo de 25-30 °C para o de 35-40 °C, especialmente com a atividade de água entre 0,2 a 0,6. Uma análise do comportamento da umidade de equilíbrio em relação à atividade de água mostra similaridade ao comportamento da temperatura.

As isotermas de adsorção do pedúnculo do caju seco são curvas do tipo II, seguindo a classificação de Brunauer (Brunauer et al., 1938), cuja forma sigmoideal é utilizada principalmente em isotermas de produtos orgânicos.

Blahovec (2004) estudou alguns modelos de isotermas de sorção, realizando um estudo matemático sobre os valores aceitáveis para cada parâmetro. Para o modelo de GAB e para as curvas do tipo II, este autor assegura que $0 < k \leq 1$ e $C_G > 2$. É observado que estes parâmetros (Tabela 3) estão dentro do intervalo descrito, tendo assim, a confirmação matemática do tipo de isotermas obtido nesse estudo.

Observa-se que o valor do parâmetro da equação de GAB, X_m , onde este representa a umidade na monocamada do material adsorvente, não apresentou tendência definida em relação à temperatura, porém, k teve um pequeno acréscimo com o aumento desta e C_G aumentou quando passou do intervalo de 25-30 °C para 35-40 °C.

Quando se compara os valores das umidades equivalentes à monocamada através da equação de BET, observa-se que da faixa de 25-30 °C para 35-40 °C, a umidade X_m teve um aumento de aproximadamente 0,4%. Segundo Ferreira & Pena (2003), este não é um comportamento comum, mas pode ser justificado através de dois mecanismos: um aumento da temperatura pode provocar modificações na estrutura física do produto, disponibilizando um maior número de sítios ativos com afinidade por moléculas de água, ou pode provocar um aumento na solubilidade de solutos intrínsecos ao produto, fazendo com que um maior número de moléculas de água fique retido na monocamada.

Todos os parâmetros mencionados para os modelos de Henderson e de Oswin (Tabela 3) encontram-se dentro do esperado, uma vez que Blahovec (2004) afirma que o modelo de Henderson deve apresentar $a > 0$ e $b \geq 1$ e, para o modelo de Oswin, $a > 0$ e $1 \geq b > 0$. Ter esses parâmetros dentro desses intervalos indica que não há ponto de inflexão na curva, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções, logo estes parâmetros possuem consistência matemática e física.

Na literatura podem ser encontrados diversos trabalhos que relacionam teores iniciais de atividade de água com o desenvolvimento de diversos microrganismos responsáveis pelas sínteses de produtos obtidos em processo de FSS.

Em particular, o *Aspergillus niger* é descrito por Pinto et al. (2006) como o microrganismo mais adaptável aos processos fermentativos, sendo em torno de 0,7 o valor da atividade de água mínima para o desenvolvimento de suas atividades metabólicas.

Ao se correlacionar esse dado utilizando-se o pedúnculo de caju seco no processo de FSS e as isotermas de adsorção obtidas, tem-se um indicativo de que a umidade no substrato, nos intervalos de temperatura de 25-30 °C e 35-40 °C, não devem ser menores que 17,5 e 19,0% b.s,

respectivamente, em que se propiciará o desenvolvimento do microrganismo.

Para a produção de pectinases por *Aspergillus niger* em FSS, diversos autores descrevem processos fermentativos (Castilho, 1997; Antier et al., 1993; Taragano & Pilosof, 1999) em que se pode constatar que a atividade de água que melhor propícia à síntese do produto encontra-se acima de 0,90.

Esta informação é importante, pois para se produzir pectinases utilizando como substrato o pedúnculo de caju seco, e correlacionando a atividade de água e a umidade de equilíbrio através das isotermas obtidas nesse trabalho, a umidade do material deverá estar acima de 35% b.s.

Sendo assim, é de extrema importância o conhecimento do comportamento higroscópico do produto semi-sólido utilizado como substrato em um processo fermentativo, pois a quantidade de água disponível no meio para o microrganismo se desenvolver e sintetizar as reações ao longo do processo de produção é um fator limitante.

CONCLUSÕES

1. As isotermas de adsorção determinadas para o pedúnculo de caju seco são do tipo II.
2. Os modelos aplicados ajustaram-se bem aos dados experimentais, sendo o modelo de GAB o que melhor representa estes dados em todas as temperaturas estudadas.
3. Para as isotermas de 25-30 °C não há influência da temperatura, diferentemente das de 35-40 °C, em que se observa influência. Contudo, para os intervalos entre 25-30 °C e 35-40 °C constata-se influência da temperatura.
4. No processo de fermentação semi-sólida para produção de pectinases, utilizando como microrganismo o *Aspergillus niger* e como substrato o pedúnculo de caju previamente seco, tem-se o indicativo de que a umidade inicial do substrato deve ser ajustada para valores acima de 35% b.s.

AGRADECIMENTOS

À UFCEG e a Capes pelo suporte financeiro.

LITERATURA CITADA

Antier, P.; Minjares, A.; Roussos, S.; Raimbault, M.; Viniestra-Gonzalez, G. Pectinase-hyperproducing mutants of *Aspergillus niger* C28B25 for solid-state fermentation of coffee pulp. *Enzyme Microbial Technology*, v.15, n.3, p.254-260, 1993.

Araújo, L. F.; Oliveira, L. S. C.; Perazzo Neto, A.; Alsina, O. L. S.; Silva, F. L. H. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: relação com a umidade ótima para fermentação sólida. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.9, n.3, p.379-384, 2005.

Assunção, R. B.; Mercadante, A. Z. Carotenoids and ascorbic acid composition from commercial products of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, v.16, n.6, p.647-657, 2003.

Blahovec, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. *Journal of Food Engineering*, v.65, n.4, p.489-495, 2004.

Brunauer, S.; Emmett, P.; Teller, E. Adsorption of gases in multi-molecular layers. *Journal of American Chemical Society*, v.60, n.2, p.309-319, 1938.

Castilho, L. R. Recuperação de pectinases produzidas por *Aspergillus niger* em fermentação semi-sólida. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997. Dissertação Mestrado

del Bianchi, V. L.; Moraes, I. O.; Capalbo, D. M. F. Fermentação em estado sólido. In: Schimmedell, W.; Lima, U. A.; Aquarone, E.; Borzani, W. *Biotecnologia industrial: engenharia bioquímica*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., v.2, 2001.

Ditchfield, C. Estudo dos métodos para a medida da atividade de água. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. Dissertação Mestrado

Ferreira, C. D.; Pena, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.23, n.2, p.251-255, 2003.

Henderson, S. M. A basic concept of equilibrium moisture. *Agricultural Engineering*, v.33, n.1, p.29-32, 1952.

Kiss, J. Reforma na casa. *Globo Rural*, n° 233, p.58-63, 2005.

Lomauro, C. J.; Bakshi, A. S.; Labuza, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetable and meat products. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, v.18, n.2, p.111-117, 1985.

Moura, R. S. F. Estudo da cinética de secagem de caju (*Anacardium occidentale* L.) em um secador de leito fixo. Campina Grande: UFCG, 2001. Dissertação Mestrado

Moura, R. S. F.; Gouveia, J. P. G.; Almeida, F. A. C.; Sousa, A. G.; Silva, M. M.; Oliveira, A. M. V. Modelagem matemática para isotermas em polpa de caju. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.4, n.2, p.32-40, 2004.

Pinto, G. A. S.; Brito, E. S.; Silva, F. L. H.; Santos, S. F. M.; Macedo, G. R. Fermentação em estado sólido: uma alternativa para o aproveitamento e valorização de resíduos agroindustriais. *Revista de Química Industrial*, v.74, n.724, p.17-20, 2006.

Rockland, L. B. Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5 and 40 °C. *Analytical Chemistry*, v.32, n.10, p.1375-1376, 1960.

Santin, A. P. Estudo da secagem da inativação de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*). Florianópolis: UFSC, 1996. 150p. Dissertação Mestrado

Santos, F. S. A.; Figueirêdo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade de farinhas de mandioca temperadas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.6, n.2, p.149-155, 2004.

Santos, S. F. M.; Nóbrega, J. E.; Pinto, G. A.S.; Macedo, G. R.; Silva, F. L. H. Caracterização do resíduo seco do pedúnculo de caju visando sua utilização como substrato para fermentação semi-sólida. In: *Simpósio Brasileiro de Bioprocessos*, 15, 2005, Recife. Anais... Recife: ABEQ, 2005.CD-Rom.

- Smith, S. E. The sorption of water vapour by high polymers. *Journal of the American Chemical Society*, v.69, n.3, p.646, 1947.
- Taragano, V. M.; Pilosof, A. M. R. Application of Doehlert designs for water activity, pH and fermentation time optimization for *Aspergillus niger* pectinolytic activities production in solid-state and submerged fermentation. *Enzyme Microbial Technology*, v.25, n.3-5, p.411-419, 1999.
- van den Berg, C. Development of BET like models for sorption of water of food: theory and relevance. In: Simatos, D.; Milton, J. L. (ed.) *Properties of water foods*. Dordrecht: Martinus Nyhoff Publishers, 1985. p.119-131.
- Welti-Chanes, J.; Vergara, B. F. Actividad de agua. Concepto y aplicación em alimentos com alto contenido de humedad. In: Aguilera, J. M. *Temas em tecnología de alimentos*. México: 1997. v.1, p.11-43.