

# Efeito das condições da desidratação osmótica na qualidade de passas de caju-do-cerrado

*Effect of dehydration osmotic conditions on the quality of cashew apple from cerrado*

Mayra Conceição Peixoto MARTINS<sup>1\*</sup>, Thays Louzada CUNHA<sup>2</sup>, Mara Reis SILVA<sup>2</sup>

## Resumo

A metodologia de superfície de resposta foi usada para determinar as melhores condições de processamento de acordo com a máxima perda de peso e de umidade, baixo valor de atividade de água e incorporação de sólidos e maior concentração de vitamina C na elaboração de passas de caju-do-cerrado, utilizando-se a desidratação osmótica como pré-tratamento. O tempo de tratamento osmótico (2 a 4 horas), a temperatura (30 a 50 °C) e a concentração da solução osmótica (40 a 60 °Brix) foram as variáveis investigadas para as respostas: perda de peso, perda de umidade, incorporação de sólidos, atividade de água e teor de vitamina C no produto final. Os experimentos foram conduzidos conforme Delineamento Central Composto Rotacional com 19 tratamentos, incluindo pontos axiais e centrais. Para cada resposta, modelos de segunda ordem polinomial foram desenvolvidos usando-se análise de regressão múltipla linear. Foi realizado teste sensorial com 33 provadores para observar a aceitação dos produtos com qualidades tecnológicas e nutricionais adequadas, sendo que a passa de caju-do-cerrado processada com solução osmótica de 40 °Brix, 50 °C, durante quatro horas, apresentou os melhores resultados.

**Palavras-chave:** desidratação osmótica; caju-do-cerrado; secagem; metodologia de superfície de resposta.

## Abstract

Response surface methodology was used to determine the best conditions for maximum weight and moisture loss, low water activity and solid gain value, and the highest vitamin C content cashew apple from *Cerrado* (vast tropical savanna ecoregion of Brazil), using osmotic dehydration as a pre-treatment. The processing time (2-4 hours), temperature (30-50 °C), and sucrose concentration (40-60 °Brix) were investigated to explain weight loss, moisture loss, solid gain, water activity, and vitamin C content in the final products. The experiments were designed according to Central Composite Rotatable Design with 19 treatments including central and axial points. For each response, second order polynomial models were developed using multiple linear regression analysis. The response surface methodology showed an interaction of the process variables. A sensorial test was applied to 33 tasters to evaluate the acceptability of the best technological and nutritional quality final products. The best treatment was the one processed under 4 hours, 50 °C, and 40 °Brix.

**Keywords:** osmotic dehydration; cashew apple; drying; response surface methodology.

## 1 Introdução

A fruticultura destaca-se como uma das atividades que apresentam maior retorno econômico e social (ALVES, 2002). O Brasil é o terceiro produtor mundial de frutas, sendo que o caju está entre as principais fruteiras cultivadas no país (ALVES, 2002; MELO, 2002). Apesar do grande cultivo da fruta, sua utilização principal é para a produção de castanha, considerada o fruto verdadeiro, que é comercializado no mercado internacional de nozes comestíveis (BARROS, 2002).

O Brasil se diferencia dos demais países produtores de caju pelo aproveitamento industrial do pseudofruto (pedúnculo carnoso), cujo potencial econômico é surpreendente, em razão de inúmeras possibilidades de utilização (suco, polpa, aguardente, rapadura, doces) (BARROS, 2002). Dentre as espécies de caju existentes no país, destaca-se no Estado de Goiás, o *Anacardium othonianum* Rizz., conhecido como caju-do-cerrado, árvore mediana de 3 a 6 m de altura e tronco de 20 a 40 cm de diâmetro (NAVES, 1999).

No processamento de alimentos tradicionais, especialmente em países em desenvolvimento, utiliza-se com frequência a com-

binhação de métodos de conservação em produtos alimentícios, incluindo frutas, vegetais e peixes (LEISTNER, 2000; 1995). Processos que incluem a remoção de água são comumente empregados para conservar alimentos, permitindo seu consumo por longos períodos. A operação de secagem é o método mais antigo e mais importante de conservação de alimentos, mas apresenta várias desvantagens como alto consumo de energia e temperaturas elevadas (MANDALA; ANAGNOSTARAS; OIKONOMOU, 2005; FERNANDES, 2006a). Um processo frequentemente usado como pré-tratamento de alimentos é a desidratação osmótica seguida pela desidratação artificial, que pode reduzir o gasto de energia e melhorar a qualidade sensorial do produto final (AZEREDO, 2004). Durante o processo osmótico de desidratação observam-se três tipos básicos de transferência de massa que ocorrem simultaneamente: a saída de água do produto para a solução hipertônica, a saída de alguns solutos do produto e a saída de soluto da solução para o produto. A partir desta transferência é possível introduzir uma quantidade desejada de princípio ativo, agente conservante,

Recebido para publicação em 18/5/2007

Aceito para publicação em 22/1/2008 (002541)

<sup>1</sup> Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia - GO, Brasil, E-mail: mayra@cultura.com.br

<sup>2</sup> Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Goiás – UFG, CEP 74605-080, Goiânia - GO, Brasil

\*A quem a correspondência deve ser enviada

qualquer soluto de interesse nutricional ou outro capaz de conferir ao produto uma melhor qualidade sensorial (EL-AQUAR; MURR, 2003).

A desidratação osmótica usada como método alternativo para a produção de passas de frutas permite a obtenção de produtos com textura, cor e sabor adequados, além de possibilitar a redução da perda pós-colheita (SOUSA et al., 2003), a diminuição de custos com o transporte, a embalagem e o armazenamento dos alimentos com alto teor de água (PARK; BIN; BROD, 2001).

A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) pode ser utilizada para analisar os efeitos das variáveis independentes do processo nas respostas. Esta metodologia baseia-se na variação simultânea de vários fatores (variáveis independentes), previamente selecionados por sua influência nas propriedades do processo (variáveis dependentes ou respostas). Utilizando-se técnicas matemáticas e estatísticas, os resultados experimentais indicam uma combinação de níveis dos fatores dentro de uma região ótima (GRIZOTTO et al., 2005).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do tempo, temperatura e concentração da solução osmótica no processamento de passas de caju-do-cerrado, utilizando-se a desidratação osmótica seguida de secagem convectiva e investigar a aceitação dos produtos em teste afetivo laboratorial.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Material

O caju-do-cerrado foi adquirido no comércio local dos municípios de Faina e Hidrolândia, situados no Estado de Goiás. O açúcar refinado utilizado na solução osmótica foi adquirido no comércio varejista de Goiânia - GO.

Os cajus foram lavados em água corrente de boa qualidade higiênico-sanitária, acondicionados em sacos de polietileno e, em seguida, armazenados em freezer a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 2.2 Processamento

A solução osmótica foi preparada utilizando-se açúcar refinado comercial e água destilada, de acordo com Andrade et al. (2007), além da adição de benzoato de sódio a 0,1% (MOTA, 2005). As concentrações das soluções foram definidas de acordo com o delineamento experimental (Tabela 1) e ajustadas com o auxílio de um refratômetro manual.

O caju-do-cerrado foi retirado do congelador cerca de dez horas antes do processamento e descongelado sob refrigeração em aproximadamente  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O pseudofruto foi separado da castanha, lavado em água corrente e higienizado em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por 20 minutos. A solução foi drenada com uma peneira por aproximadamente 10 minutos. Com o auxílio de uma faca, os pseudofrutos foram divididos ao meio e submetidos à solução osmótica em banho-maria na proporção de 2:1, solução:fruto, à temperatura e tempo definidos previamente no delineamento experimental (Tabela 1). Após a desidratação osmótica, a solução foi descartada com o auxílio de

uma peneira. A seguir, os pseudofrutos foram acondicionados em fôrmas de alumínio para a secagem em estufa com circulação forçada de ar a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  por sete horas (SOUSA, 2003).

### 2.3 Análises físicas e químicas

As análises de umidade, pH, vitamina C, acidez titulável, atividade de água e açúcar redutor foram realizadas no caju-do-cerrado in natura. As passas de caju-do-cerrado elaboradas foram submetidas às análises físicas e químicas - Perda de Peso (PP), Perda de Umidade (PU), Incorporação de Sólidos (IS), atividade de água, umidade, pH, vitamina C e açúcar redutor - para avaliação da qualidade tecnológica. Todas as análises foram realizadas em duplicata. As equações para determinar a perda de peso, perda de umidade e incorporação de sólidos são mostradas a seguir (Equações 1, 2 e 3):

$$PP(\%) = 100 \times \left(1 - \frac{m_f}{m_i}\right) \quad (1)$$

em que:

PP (%) = perda de peso do material desidratado;

$m_i$  = massa total inicial do material; e

$m_f$  = massa total final do material.

$$PU(\%) = 100 \times \frac{U_i m_i - U_f m_f}{m_i} \quad (2)$$

sendo:

PU (%) = perda de umidade com base na massa inicial do material;

$U_i$  = teor inicial de umidade do material;

$U_f$  = teor final de umidade do material;

$m_i$  = massa total inicial do material; e

$m_f$  = massa total final do material.

$$IS(\%) = 100 \times \frac{ST_f m_f - ST_i m_i}{m_i} \quad (3)$$

em que:

IS (%) = incorporação de sólidos com base na massa inicial do material;

$ST_i$  = teor inicial de sólidos totais do material;

$ST_f$  = teor final de sólidos totais do material;

$m_i$  = massa total inicial do material; e

$m_f$  = massa total final do material.

A Atividade de água (Aa) do produto final foi medida diretamente, em aparelho AquaLab, modelo D-409X ADTI, com potência de 400 W e frequência de 40 kHz, com controle de temperatura.

O teor de ácido ascórbico foi determinado segundo o método padrão da AOAC (1990) e modificado por Benassi e

**Tabela 1.** Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR) com três variáveis independentes: X<sub>1</sub> (tempo); X<sub>2</sub> (temperatura); e X<sub>3</sub> (concentração da solução osmótica).

Tratamento (n°)	Variáveis codificadas			Variáveis reais		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Tempo (horas)	Temperatura (°C)	Concentração da solução osmótica (°Brix)
1	-1,000	-1,000	-1,000	2,0	30	40
2	1,000	-1,000	-1,000	4,0	30	40
3	-1,000	1,000	-1,000	2,0	50	40
4	1,000	1,000	-1,000	4,0	50	40
5	-1,000	-1,000	1,000	2,0	30	60
6	1,000	-1,000	1,000	4,0	30	60
7	-1,000	1,000	1,000	2,0	50	60
8	1,000	1,000	1,000	4,0	50	60
9	-1,682	0,000	0,000	1,3	40	50
10	1,682	0,000	0,000	4,7	40	50
11	0,000	-1,682	0,000	3,0	23	50
12	0,000	1,682	0,000	3,0	57	50
13	0,000	0,000	-1,682	3,0	40	33
14	0,000	0,000	1,682	3,0	40	67
15	0,000	0,000	0,000	3,0	40	50
16	0,000	0,000	0,000	3,0	40	50
17	0,000	0,000	0,000	3,0	40	50
18	0,000	0,000	0,000	3,0	40	50
19	0,000	0,000	0,000	3,0	40	50

Antunes (1998). O ácido ascórbico foi extraído de 20 g da amostra com solução de ácido oxálico a 2%, à temperatura ambiente, por 2 minutos. Após a extração, a amostra foi diluída em ácido oxálico a 2% e o teor de ácido ascórbico foi determinado quantitativamente através de titulação oxidativa com 2,6-diclorofenolindofenol a 0,01%.

A acidez titulável foi estimada por meio de titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1N, conforme o Instituto Adolfo Lutz (2005).

Para determinação da umidade das amostras foi utilizado o método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2005) com modificações. Três gramas de amostra foram pesadas em placas de Petri e pérolas de vidro previamente taradas. A desidratação foi realizada em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até peso constante. As pérolas de vidro foram utilizadas para aumentar a superfície de contato das amostras e diminuir o tempo de análise.

Para determinação do pH, 10 g de amostra de passas de caju foram diluídas em 100 mL de água destilada previamente fervida. O pH foi estimado eletrometricamente após agitação e repouso da amostra (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005). O valor do pH foi corrigido conforme diluição da amostra.

A análise de açúcares redutores foi feita pelo método do Ácido 3,5-dinitrossalicílico (ADNS) (MILLER, 1959). Para a realização da análise, a amostra foi aquecida (70 °C), filtrada em papel de filtro, clarificada com solução saturada de acetato neutro de chumbo, e novamente filtrada a vácuo. Aliquotas de 0,2; 0,5; 0,8 e 1,0 mL da amostra foram homogeneizadas com 2,0 mL de ADNS e água destilada e em seguida submetidas à fervura por 5 minutos em banho-maria. A leitura foi feita em espectrofotômetro a 540 nm.

#### 2.4 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento de desidratação osmótica de pseudofrutos de caju-do-cerrado foi conduzido conforme Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR) com três fatores ou variáveis independentes: tempo de tratamento osmótico, temperatura do tratamento osmótico e concentração da solução osmótica. Este delineamento para três variáveis contém um mínimo de  $2^N + 2N + 1$  pontos ou ensaios, onde N é o número de variáveis.

Os ensaios definidos por estes pontos compreendem:  $2^N$  pontos para um modelo fatorial completo (combinam níveis +1 e -1), 2N pontos axiais em cada eixo, com distância do centro igual à distância de cada vértice, um nível em  $\alpha$  e os outros em zero (valores de máximo e mínimo), mais um ou mais pontos no centro do modelo (nível zero). O valor de  $\alpha$  depende do número de pontos do modelo fatorial (F) e do número de fatores (N), sendo calculado pela Equação 4:

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^N)^{1/4} \quad (4)$$

neste caso, com três variáveis, então:  $\alpha = (2^3)^{1/4} = \sqrt[4]{8} = 1,682$ .

No presente trabalho, o número mínimo de ensaios seria 15 ( $2^3 + 2,3 + 1$ ), sendo oito fatoriais, seis axiais e um central. Entretanto, foram realizados 19 ensaios, sendo cinco repetições no ponto central. O ponto central fornece uma média para estimar o erro experimental e a falta de ajuste e os pontos axiais foram adicionados para estimar a curvatura do modelo. As faixas de variação entre o limite inferior e o superior de cada variável foram determinadas por meio de testes preliminares. O delineamento estatístico e os níveis das variáveis estudadas estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 2.** Valores codificados e valores reais do delineamento experimental.

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
$X_1$ = tempo de tratamento osmótico (horas)	1,3	2	3	4	4,7
$X_2$ = temperatura do tratamento osmótico (°C)	23	30	40	50	57
$X_3$ = concentração da solução osmótica (°Brix)	33	40	50	60	67

Para cada tratamento (Tabela 1) foram avaliadas as variáveis dependentes: perda de peso, perda de umidade, incorporação de sólidos, atividade de água, teor de vitamina C, acidez titulável, pH, umidade, sólidos solúveis e açúcares redutores. Os dados foram submetidos à análise de regressão multivariada.

A significância do modelo foi testada por análise de variância (ANOVA) e teste *F* ( $p \leq 0,05$ ). O teste *T student* foi usado para determinação da significância dos efeitos individuais de cada um dos coeficientes estimados. O programa SAS for Windows, na versão 8.2 foi utilizado para tratamento dos dados (SAS, 1998).

Foi utilizada a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) para analisar os efeitos das variáveis independentes ( $x_1, x_2, x_3$ ) do processo nas respostas ( $y_i$ ). As curvas da análise de superfície de resposta foram elaboradas conforme níveis estudados, utilizando-se as equações de regressão múltipla. A resposta pode ser escrita como sendo função (*f*) de  $x$ :  $y_i = f(x_1, x_2, x_3)$ .

Quando não houve ajuste dos dados experimentais ao modelo preditivo foram empregados análise de variância (teste *F*,  $p < 0,05$ ) e teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação das médias.

## 2.5 Análise sensorial

A aceitação das passas de caju do Cerrado foi avaliada por 33 consumidores potenciais não treinados, conforme os atributos sabor, odor, textura e aparência dos produtos, utilizando-se escala hedônica de 9 pontos, ancorada nos seus extremos com termos “gostei muitíssimo” e “desgostei muitíssimo”. As amostras servidas aleatoriamente para degustação foram avaliadas em cabines individuais iluminadas com luz vermelha. O produto foi servido em temperatura ambiente, apresentado de forma monádica em copos plásticos codificados com números de três dígitos.

A aparência dos produtos foi julgada em blocos completos, de forma independente das características de aroma, sabor e textura. Os provadores avaliaram a aparência dos produtos dispostos em pratos de fundo branco, codificados com números de três dígitos, iluminados por luz natural do dia. A análise sensorial (degustação e aparência) foi realizada após dois dias da elaboração das passas de caju.

Os resultados do teste de aceitação foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e teste de média de Tukey

com 5% de probabilidade, além de histograma de frequência (escore de aceitação versus percentagem de provadores).

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Análises físicas e químicas

#### *Caju-do-cerrado in natura*

O pseudofruto do caju-do-cerrado in natura apresentou em média  $84,99 \pm 0,22$  g.100 g<sup>-1</sup> de umidade, pH de  $3,12 \pm 0,43$ , acidez titulável de  $11,83 \pm 0,01$  mL.g<sup>-1</sup>, açúcar redutor de  $10,16 \pm 0,75$  mg.100 g<sup>-1</sup> e  $43,25 \pm 0,02$  mg.100 g<sup>-1</sup> de vitamina C. Os valores de umidade e pH estão de acordo com os resultados de Silva, Silva e Oliveira (2004) para caju-do-cerrado in natura de  $82,29$  mg.100 g<sup>-1</sup> e 3,11, respectivamente. Entretanto, estes autores relataram teores mais elevados de acidez titulável ( $19,22$  mL.g<sup>-1</sup>) e menor concentração de vitamina C ( $36,92$  mg.100 g<sup>-1</sup>).

Assunção e Mercadante (2003) avaliaram o teor de vitamina C de diferentes variedades de caju (*Anacardium occidentale*) provenientes dos Estados do Piauí e São Paulo e observaram teores variando de 104 a 121 mg.100 g<sup>-1</sup>. Diferenças significativas foram encontradas na concentração de vitamina C dos dois Estados, sendo que o caju amarelo e o vermelho do Piauí apresentaram valores mais altos. Provavelmente, a variedade e a região geográfica influenciaram a determinação do conteúdo de vitamina C do caju-do-cerrado, uma vez que os teores obtidos foram inferiores àqueles relatados por Assunção e Mercadante (2003).

#### *Passas de caju-do-cerrado*

Dentre as variáveis dependentes estudadas, os resultados da PP, PU, IS, Aa e teor de vitamina C dos 19 tratamentos foram utilizados para a seleção das condições de processo mais favoráveis para a obtenção de passas de caju de qualidade tecnológica adequada. A escolha destas variáveis foi em razão da grande influência nas características ou na qualidade nutricional do produto final. Os critérios utilizados para seleção dos tratamentos que apresentaram melhor qualidade tecnológica foram: a máxima perda de peso e umidade, baixa atividade de água e incorporação de sólidos, além de maiores concentrações de vitamina C.

Todos os modelos completos para PP, PU, IS e Aa apresentaram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 75% (Tabela 3), coeficiente de variação entre 6 e 24% e falta de ajuste não significativa. Portanto, estes modelos podem ser considerados adequados para expressar a variação nas respostas.

#### Perda de peso (PP)

Para perda de peso, o  $R^2$  mostra que 82% da resposta foi explicada pelo modelo completo. Os efeitos lineares do tempo de imersão e da concentração da solução osmótica foram os mais importantes para explicar esta resposta (Tabela 3 e Figura 1).

A perda de peso das passas de caju foi inversamente proporcional ao tempo de imersão e concentração da solução osmótica (Figura 1). Os maiores valores de perda de peso ocorreram nas

duas primeiras horas de imersão e em soluções com até 50 °Brix. Os tratamentos que obtiveram melhores resultados quanto a essa resposta foram 2, 3, 4 e 9.

Perda de umidade (PU)

A perda de umidade foi afetada significativamente ( $p \leq 0,05$ ) somente pela concentração da solução osmótica. O modelo completo explicou 76% da variação observada na variável dependente e apenas o termo linear negativo foi significativo nesta variável (Tabela 3). Observou-se que mais de 80% da umidade foi perdida em passas de caju elaboradas com concentrações até 50 °Brix.

A elevação da concentração da solução osmótica induz a um aumento na transferência de água da fruta para a solução osmótica, devido ao aumento do gradiente de pressão (FERNANDES et al., 2006b; TELES et al., 2006). Entretanto, a sacarose em excesso pode atuar como uma resistência adicional à transferência de água entre fruta e solução, que pode ser explicada pelo tamanho da molécula de sacarose (TELES et al., 2006).

A perda de peso também foi afetada pelo tempo de imersão das amostras, o que possivelmente pode ser explicado por alterações da concentração de sólidos com o transcorrer do tempo de processo, independente do teor de umidade.

Resultados diferentes foram obtidos por Azoubel e Murr (2003) na otimização da desidratação osmótica de caju em solução de sacarose, visto que esses pesquisadores relataram que a temperatura foi o fator mais importante. No entanto, Khoiyi e Hesari (2007) observaram que a temperatura e a concentração da solução osmótica foram as variáveis com maior efeito na desidratação osmótica de damasco, comparando-se com os efeitos do tempo e concentração da solução osmótica.

Os tratamentos que obtiveram melhores resultados de perda de umidade foram: 3, 4, 9, 12, 13 e 15.

Incorporação de sólidos (IS)

A incorporação de sólidos foi afetada significativamente ( $p \leq 0,05$ ) pelo tempo de imersão e pela concentração da solução osmótica, sendo os efeitos lineares os mais importantes para esta resposta (Tabela 3, Figura 2). Para a IS, o  $R^2$  de 83% foi considerado bastante satisfatório, indicando a adequação do modelo.

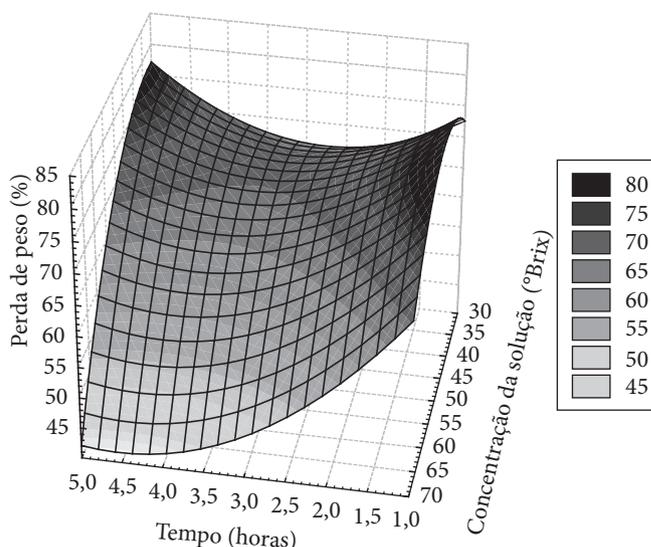


Figura 1. Superfície de resposta para o efeito do tempo e da concentração da solução na Perda de Peso (PP) das passas de caju-do-cerrado.

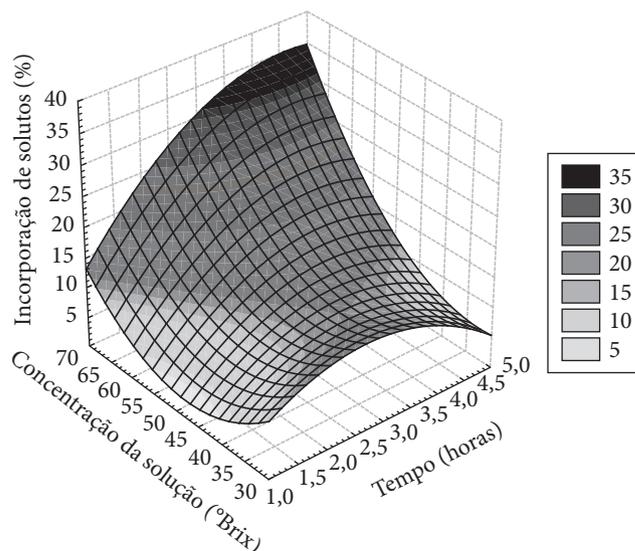


Figura 2. Superfície de resposta para o efeito do tempo e da concentração da solução na Incorporação de Sólidos (IS) das passas de caju-do-cerrado.

Tabela 3. Modelos matemáticos e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos ajustados para Perda de Peso (PP), Perda de Umidade (PU), Incorporação de Sólidos (IS) e Atividade de água (Aa).

Resposta	Modelo completo	$R^2$ (%)
Perda de peso (%)	$63,96 - 2,73^{0,0426} X_1 + 1,03^{n.s.} X_2 - 4,91^{0,0021} X_3 + 2,54^{n.s.} X_1^2 + 1,40^{n.s.} X_1 X_2 + 2,34^{n.s.} X_2^2 - 1,94^{n.s.} X_1 X_3 + 0,67^{n.s.} X_2 X_3 - 2,09^{n.s.} X_3^2$	82
Perda de umidade (%)	$79,88 - 0,33^{n.s.} X_1 + 0,31^{n.s.} X_2 - 0,95^{0,0033} X_3 + 0,35^{n.s.} X_1^2 + 0,27^{n.s.} X_1 X_2 + 0,42^{n.s.} X_2^2 - 0,32^{n.s.} X_1 X_3 - 0,16^{n.s.} X_2 X_3 - 0,34^{n.s.} X_3^2$	76
Incorporação de sólidos (%)	$15,72 + 2,21^{0,0432} X_1 - 0,85^{n.s.} X_2 + 4,14^{0,0017} X_3 - 2,00^{n.s.} X_1^2 - 1,21^{n.s.} X_1 X_2 - 1,83^{n.s.} X_2^2 + 1,61^{n.s.} X_1 X_3 - 0,64^{n.s.} X_2 X_3 + 1,85^{n.s.} X_3^2$	83
Atividade de água	$-9,26 + 2,14^{0,0043} X_1 - 0,47^{n.s.} X_2 - 0,27^{n.s.} X_3 - 0,02^{0,0038} X_1^2 - 0,11^{0,0083} X_1 X_2 + 0,08^{0,0367} X_2^2 - 0,16^{0,0037} X_1 X_3 - 0,18^{0,0006} X_2 X_3 + 0,10^{0,013} X_3^2$	99
Vitamina C (mg.100 g <sup>-1</sup> )	$17,69 - 0,51^{n.s.} X_1 - 0,40^{n.s.} X_2 + 0,26^{n.s.} X_3 - 1,50^{0,0393} X_1^2 - 2,48^{0,0001} X_1 X_2 - 1,83^{0,0004} X_1 X_3 - 0,16^{n.s.} X_2 X_3$	78
Acidez titulável (mL.g <sup>-1</sup> )	$30,71 - 0,67^{n.s.} X_1 + 0,09^{n.s.} X_2 - 3,82^{0,0112} X_3 + 0,73^{n.s.} X_1^2 + 2,57^{n.s.} X_1 X_2 - 11,64^{0,0001} X_1 X_3 - 0,16^{n.s.} X_2 X_3$	83

$p < 0,05$  é significativo; n.s.= não significativo;  $X_1$  = tempo de imersão (h);  $X_2$  = temperatura do tratamento osmótico (°C); e  $X_3$  = concentração da solução osmótica (°Brix).

As menores incorporações ocorreram até 50 °Brix com até duas horas de imersão, e os valores mais elevados de incorporação de sólidos foram observados a partir de três horas de imersão e 60 °Brix. Azoubel e Murr (2003) também verificaram que além do tempo de imersão (1,5 a 4 horas), a temperatura (30 a 50 °C) influenciou a incorporação de sólidos (sacarose e xarope de milho) em pseudofrutos de caju.

Fernandes et al. (2006a) observaram que quanto maior o tempo de desidratação osmótica da banana, maior a transferência de sacarose ao produto final até o limite de duas horas e 67 °Brix. Após duas horas houve interrupção da difusão da sacarose da solução para a fruta, embora a remoção de água da banana tenha continuado.

Os tratamentos com melhor desempenho para esta resposta foram aqueles que apresentaram baixa incorporação de sólidos (3, 4 e 9), uma vez que a incorporação elevada de sacarose pode alterar o sabor característico da fruta.

#### Atividade de água (Aa)

A atividade de água foi afetada significativamente ( $p < 0,05$ ) pelos efeitos lineares e quadráticos de tempo, temperatura e concentração da solução osmótica e pelas interações entre tempo e temperatura, e temperatura e concentração da solução. O modelo completo explicou 99% da variação total observada na variável dependente, o que caracteriza um bom ajuste do modelo (Tabela 3). Os menores valores foram observados nas duas primeiras horas e em temperaturas maiores que 45 °C.

Apesar de ter sido estabelecido previamente que os valores mais baixos de Aa corresponderiam às condições mais adequadas de tratamento para esta resposta, os resultados obtidos nos 19 tratamentos estão abaixo do mínimo recomendado ( $< 0,60$ ) por Silva (2000) para inibir o crescimento de qualquer tipo de microrganismo.

#### Vitamina C

A vitamina C foi afetada significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo efeito quadrático do tempo de imersão e pelas interações entre tempo e temperatura, e tempo e concentração da solução. O modelo explicou 78% da variação (Tabela 3), entretanto, a falta de ajuste foi significativa. Esta significância foi considerada irrelevante, pois o quadrado médio para o erro experimental (erro puro) foi baixo (2,28) e o coeficiente de variação 9,9%.

Os maiores teores de vitamina C foram observados em passas de caju elaboradas com 3 horas de imersão na solução osmótica com até 50 °Brix e 40 °C (Figura 3), e correspondem aos tratamentos 2, 7, 10, 11, 13, 16 e 17. Entretanto, as perdas de vitamina C das passas de caju foram elevadas (86 a 95%) quando comparadas ao teor de vitamina C do pseudofruto in natura em base seca. Ressalta-se que para o processamento das passas, os frutos foram cortados ao meio, imersos em solução aquosa e submetidos à temperatura de até 65 °C (secagem), o que provavelmente contribuiu para a redução da estabilidade da vitamina C.

Azoubel e Murr (2003) constataram perdas menores de vitamina C (34 a 44%) em pseudofrutos de caju submetidos

à desidratação osmótica preparada com 44 a 60% de sacarose ou xarope de milho e temperatura de 34 a 50 °C durante 1,5 a 4 horas.

Por outro lado, os teores de vitamina C obtidos (11,5 a 32,0 mg.100 g<sup>-1</sup>) foram consideráveis em comparação com a recomendação da Fao e Who (2002) de 45 mg por dia para adultos de ambos os sexos, o que corresponde a aproximadamente 25 a 0% do valor de referência.

#### Acidez titulável

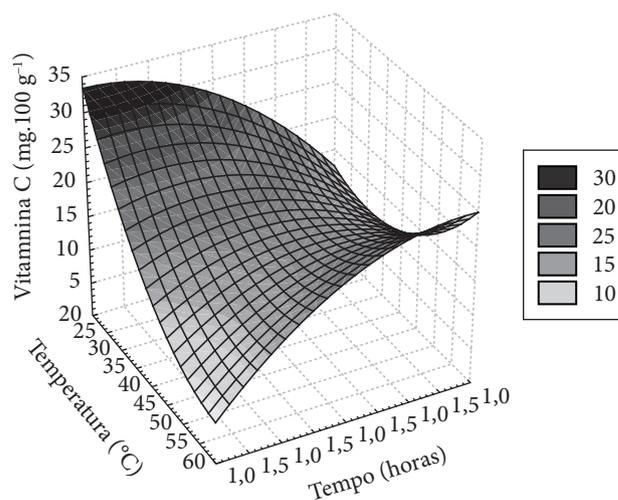
Os dados obtidos para acidez titulável dos 19 tratamentos estão apresentados na Tabela 5. A acidez titulável foi afetada significativamente ( $p < 0,05$ ) pela concentração da solução osmótica e pelas interações entre concentração versus tempo e temperatura (Tabela 3). A acidez titulável aumentou conforme a elevação da concentração da solução osmótica e houve uma tendência de redução dos valores de acidez à medida que o tempo de imersão se elevou.

O R<sup>2</sup> mostra que 83% da resposta pode ser explicada pelo modelo completo (Tabela 3). O coeficiente de variação de 17,4% ainda pode ser considerado aceitável. Embora a falta de ajuste tenha sido significativa, o quadrado médio do erro experimental foi baixo (1,83).

#### Umidade, pH e açúcar redutor

Para umidade, pH e açúcar redutor o modelo proposto não foi adequado para expressar a variação na resposta. Assim, foi feito teste de Tukey para análise dos dados. Os resultados dos 19 tratamentos apresentaram pequenas variações (Tabela 4). No entanto, houve diferença significativa para a maioria dos tratamentos. Os baixos teores de umidade das passas de caju (11,17 a 16,11 g.100 g<sup>-1</sup>) estão de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação federal vigente (BRASIL, 2007), que determina que a umidade deve ser, no máximo, de 25 g.100 g<sup>-1</sup>.

Os maiores valores de pH foram verificados em passas de caju preparadas com 30 °C e solução osmótica com 40 °Brix



**Figura 3.** Superfície de resposta para o efeito do tempo e da temperatura na concentração de vitamina C das passas de caju-do-cerrado.

(pH de 3,40 a 3,51), embora a variação tenha sido pequena, considerando-se todos os tratamentos. Quanto ao açúcar redutor, os teores mais elevados foram obtidos em tempos de imersão superiores a 3 horas e temperaturas acima de 40 °C, independente da concentração da solução osmótica. Possivelmente, o alto valor de açúcar redutor encontrado nas 19 amostras pode ser explicado pela hidrólise (inversão) da sacarose da solução osmótica, obtendo-se uma mistura de partes iguais de glicose e frutose (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998). A hidrólise pode ocorrer pela ação de enzimas digestivas (invertase) ou na presença de ácido em temperatura de ebulição; mas também pode ocorrer durante o processamento e armazenamento do produto, sendo acelerada a elevadas temperaturas e baixo pH (CANDIDO, CAMPOS, 1995). Essa hidrólise pode ter ocorrido durante o preparo das amostras para a análise, já que estas foram submetidas à temperatura de 70 °C.

### 3.2 Análise sensorial

As respostas dos 19 tratamentos foram muito variadas em função das condições de processamento. Assim, optou-se por selecionar aqueles que apresentaram com maior frequência os melhores resultados, conforme os critérios previamente estabelecidos (perda de peso, perda de umidade, incorporação de sólidos, atividade de água e vitamina C). Os tratamentos escolhidos para a análise sensorial foram: 2, 3, 4 e 9, de acordo com as respostas desejadas. O tratamento 2 obteve bons resultados para perda de peso e vitamina C, já os tratamentos 3, 4 e 9 apresentaram alta perda de peso, perda de umidade e baixa incorporação de sólidos. Observaram-se, para todos os tratamentos, baixos valores de atividade de água.

**Tabela 4.** Teores de umidade, pH e açúcar redutor das passas de caju-do-cerrado.

Tratamento	Umidade (g.100 g <sup>-1</sup> )	pH	Açúcar redutor (mg.100 g <sup>-1</sup> )
1	13,19 <sup>f</sup>	3,47 <sup>ab</sup>	6,05 <sup>h</sup>
2	14,41 <sup>cde</sup>	3,51 <sup>a</sup>	5,60 <sup>i</sup>
3	13,06 <sup>f</sup>	3,40 <sup>cdef</sup>	5,83 <sup>hi</sup>
4	13,16 <sup>f</sup>	3,33 <sup>g</sup>	7,90 <sup>a</sup>
5	16,11 <sup>a</sup>	3,45 <sup>abc</sup>	5,58 <sup>i</sup>
6	14,03 <sup>cdef</sup>	3,19 <sup>i</sup>	7,51 <sup>ab</sup>
7	13,86 <sup>def</sup>	3,22 <sup>hi</sup>	7,05 <sup>cde</sup>
8	14,68 <sup>bcd</sup>	3,44 <sup>bcd</sup>	6,94 <sup>def</sup>
9	13,54 <sup>ef</sup>	3,25 <sup>h</sup>	5,62 <sup>i</sup>
10	14,44 <sup>cde</sup>	3,39 <sup>defg</sup>	6,67 <sup>ef</sup>
11	14,94 <sup>bc</sup>	3,34 <sup>fg</sup>	6,13 <sup>h</sup>
12	11,44 <sup>g</sup>	3,21 <sup>hi</sup>	7,36 <sup>bc</sup>
13	11,92 <sup>g</sup>	3,25 <sup>hi</sup>	6,58 <sup>fg</sup>
14	15,61 <sup>ab</sup>	3,40 <sup>cdef</sup>	7,05 <sup>cde</sup>
15	11,17 <sup>g</sup>	3,34 <sup>fg</sup>	7,40 <sup>b</sup>
16	15,07 <sup>abc</sup>	3,34 <sup>fg</sup>	7,17 <sup>bcd</sup>
17	13,10 <sup>f</sup>	3,37 <sup>efg</sup>	6,55 <sup>fg</sup>
18	15,70 <sup>ab</sup>	3,36 <sup>efg</sup>	6,54 <sup>fg</sup>
19	15,69 <sup>ab</sup>	3,42 <sup>bcd</sup>	6,20 <sup>gh</sup>

Valores seguidos da mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p < 0,05).

Os tratamentos aceitos em relação à degustação foram: tratamento 2 (4 horas, 30 °C e 40 °Brix) e tratamento 4 (4 horas, 50 °C e 40 °Brix), e para aparência os tratamentos 2, 3 (2 horas, 50 °C e 40 °Brix) e 4, cujas médias de aceitação foram superiores a 6,0 (Tabela 5). No entanto, o tratamento 4 apresentou a maior média de aceitação para degustação e aparência e diferiu significativamente dos demais.

Apesar dos tratamentos 2 e 4 terem sido aceitos, o histograma de frequência confirma a superioridade do tratamento 4, uma vez que 84,84% dos provadores atribuíram a este tratamento escores superiores a 6,0, enquanto que apenas 39,39% dos provadores atribuíram ao tratamento 2 os mesmos escores (Figura 4).

### 4 Conclusões

As melhores condições do processo de desidratação osmótica do caju-do-cerrado determinadas matematicamente, conforme os critérios de máxima perda de peso e de água, baixa incorporação de sólidos e atividade de água e maior concentração de vitamina C, foram os seguintes tratamentos: tratamento 2 (4 horas, 30 °C e 40 °Brix), tratamento 3 (2 horas, 50 °C e 40 °Brix), tratamento 4 (4 horas, 50 °C, 40 °Brix) e tratamento 9 (1,3 hora, 40 °C e 50 °Brix).

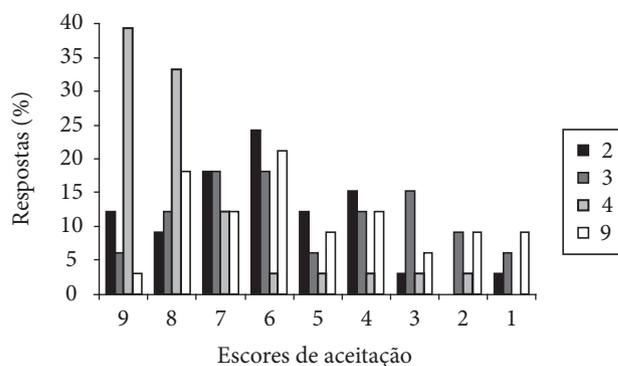
Os produtos considerados aceitos no teste sensorial para degustação e aparência foram obtidos a partir dos tratamentos 2 e 4.

O processo estudado é uma alternativa interessante para a conservação do caju-do-cerrado, visto que pode ser utilizada uma tecnologia simples e de baixo custo, que permite a obtenção de um produto similar ao in natura.

**Tabela 5.** Escores de aceitação do teste sensorial das passas de caju-do-cerrado.

Tratamento	Degustação	Aparência
4	7,67 <sup>a</sup>	7,82 <sup>a</sup>
2	6,06 <sup>b</sup>	6,27 <sup>b</sup>
3	5,30 <sup>b</sup>	6,18 <sup>b</sup>
9	5,30 <sup>b</sup>	4,73 <sup>b</sup>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 4.** Histograma de frequência quanto à degustação das passas de caju-do-cerrado.

## Agradecimentos

À UFG pela concessão de bolsa de Mestrado ao primeiro autor, ao prof. Dr. Eduardo Ramirez Asquieri, da Faculdade de Farmácia da UFG, pela colaboração nas análises de açúcar redutor e à pesquisadora Dr<sup>a</sup> Martha Z. de Miranda, da Embrapa Trigo Qualidade e Tecnologia de Grãos, pelo auxílio nas análises estatísticas.

## Referências bibliográficas

- ALVES, R. E. **Frutas do Brasil**: caju, pós-colheita. Brasília: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 36 p.
- ANDRADE, S. A. C. et al. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa Americana* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 2, p. 551-555, 2007.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Oficial methods of analyses**. 15 ed. Washington, 1990. 1298 p.
- ASSUNÇÃO, R. B.; MERCADANTE, A. D. Carotenoids and ascorbic acid from cashew apple (*Anacardium occidentale* L.): variety and geographic effects. **Food Chemistry**, v. 81, n. 4, p. 495-502, 2003.
- AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195 p.
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Optimisation of osmotic dehydration of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) in sugar solutions. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 6, p. 427-433, 2003.
- BARROS, L. M. **Frutas do Brasil**: caju, produção. Brasília: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 148 p.
- BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1998.
- BRASIL. Resolução RDC n. 272, de 22 de setembro de 2005. Fixa a identidade e as características mínimas de qualidade a que devem obedecer os produtos vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária** (ANVISA). Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 25 abr. 2007.
- CANDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. **Alimentos para fins especiais**: dietéticos. São Paulo: Varela, 1995. 423 p.
- EL-AQUAR, Â. A.; MURR, F. E. X. Estudo e modelagem da cinética de desidratação osmótica do mamão formosa (*Carica papaya* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 69-75, 2003.
- FAO - Food and Agriculture Organization. WHO - World Health Organization. Report of a joint FAO/WHO expert consultation Bangkok, Thailand. **Human vitamin and mineral requirements**. Rome, 2002, 286 p.
- FERNANDES, F. A. N. et al. Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 1, p. 188-193, 2006a.
- \_\_\_\_\_. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, n. 4, p. 492-498, 2006b.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. Brasília: Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2005. 1018 p. (Série A - Normas e Manuais Técnicos).
- GRIZOTTO, R. K. et al. Otimização via metodologia de superfície de respostas dos parâmetros tecnológicos para produção de fruta estruturada e desidratada a partir de polpa concentrada de mamão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 158-164, 2005.
- KHOYI, M. R.; HESARI, J. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 4, p. 1355-1360, 2007.
- LEISTNER, L. Basic aspects of food preservation by hurdle technology. **International Journal of Food Microbiology**, v. 55, n. 1-3, p. 181-186, 2000.
- LEISTNER, L.; GORRIS, L. G. M. Food preservation by hurdle technology. **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, n. 2, p. 41-46, 1995.
- MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. São Paulo: Roca, 1998, 1178 p.
- MANDALA, I. G.; ANAGNOSTARAS, E. F.; OIKONOMOU, C. K. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 3, p. 307-316, 2005.
- MELO, Q. M. S. **Frutas do Brasil**: caju, fitossanidade. Brasília: Embrapa, Agroindústria Tropical, 2002. 36 p.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MOTA, R. V. Avaliação da qualidade físico-química e aceitabilidade de passas de pêssego submetidas à desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 789-794, 2005.
- NAVES, R. N. **Espécies frutíferas dos cerrados de Goiás**: caracterização e influências do clima e dos solos. Goiânia, 1999. 202 p. Tese - (Doutorado em Agronomia), Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás - UFG.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra barlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.
- SAS Institute Inc. **System for Windows (Release 8.2)**. Cary, NC, USA: SAS Institute, Inc., 1998.
- SILVA, M. R.; SILVA, M. S.; OLIVEIRA, J. S. Estabilidade de ácido ascórbico em pseudofrutos de caju-do-cerrado refrigerados e congelados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 1, p. 9-14, 2004.
- SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2000. 227 p.
- SOUSA, P. H. M. et al. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 414-416, 2003.
- TELES, U. M. et al. Optimization of osmotic dehydration of melons followed by air-drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, n. 6, p. 674-680, 2006.