

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DA CINÉTICA DE SECAGEM DE FATIAS DE CAJU IN-NATURA

**Jacek Stanislaw Michalewicz, jacek.ifpe@gmail.com<sup>1</sup>**  
**José Carlos Charamba Dutra, charamba@ufpe.br<sup>2</sup>**  
**Jorge R. Henríquez Guerrero, rjorge@ufpe.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica de Pernambuco (IFPE-Recife)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

**Resumo:** No presente trabalho é mostrado os resultados de um estudo experimental da cinética de secagem de fatias (rodela) de caju in-natura, sem a utilização de pré-tratamentos e sem a retirada da casca. Os ensaios foram realizados em um secador tipo bandeja, variando-se as temperaturas do ar de secagem em 60, 70 e 80 °C, a velocidade do ar em 3, 4 e 5 m/s e a espessura da fatia de caju em 4, 7, e 10 mm. Nos experimentos, foram obtidas informações que possibilitaram o registro dos parâmetros mais importantes para investigação da secagem, tais como temperaturas, umidade relativa, conteúdo de umidade. A partir desses dados obtidos, foi investigada a influência da temperatura do ar de secagem, velocidade do ar, e a espessura da fatia de caju sobre o tempo de secagem e o conteúdo de umidade, como também o comportamento da temperatura interna do caju em função da perda de massa (umidade) e do tempo, para as diversas condições experimentais.

**Palavras-chave:** Secagem, frutas tropicais, caju.

### 1. INTRODUÇÃO

A secagem é sem dúvida uma das operações mais antigas e mais comuns dos processos industriais. Os estudos aprofundados do processo de secagem de frutas e vegetais possibilitam a redução de custos e o aumento da qualidade do produto final, tornando a agro-indústria local mais competitiva nos mercados interno e externo.

Segundo Abreu e Souza (2004), o caju (*Anacardium occidentale* L.), frutífera originária do Nordeste brasileiro, foi descoberto pelos nativos destas terras, que o utilizavam as mais diversas formas, seja como fruto in natura, seja como suco extraído por prensagem manual ou como uma bebida fermentada, a qual era utilizada em comemorações e em ocasiões especiais. O caju possui duas partes distintas comercializáveis, uma é o fruto, chamada de castanha e a outra que é o pseudofruto chamada de pedúnculo.

Segundo Galvão (2006), A agroindústria do caju no Nordeste tem relevante importância socioeconômica para o país em função da exploração de 677.253 ha de cajueiros, que mobilizam no campo cerca de 280 mil pessoas e proporcionam uma produção de 217.062 t de castanha e 2 milhões de toneladas de pedúnculo por ano. Além de frágil, este produto é altamente perecível, apresentando mecanismos aceleradores de degradação microbiológica, contribuindo assim, para a rejeição ou perda de centenas de milhares de toneladas do produto, chegando a 80% da produção nacional segundo (Gouveia et al., 2002) e (Ibge, 2009). Conforme Oliveira (2002), Os melhores indicadores do ponto de colheita do pedúnculo são: a coloração, a firmeza e a composição. Na prática, contudo, a colheita é realizada quando o pedúnculo está completamente desenvolvido, ou seja, com tamanho máximo, textura firme e coloração característica.

O processo de secagem é um complexo processo térmico na qual a transferência de calor e massa ocorre simultaneamente. Neste processo, o calor é transferido por convecção do ar quente para o produto, aumentando a temperatura tanto deste quanto da água nele contida na forma de umidade. A transferência de massa ocorre quando a umidade presente emigra na forma de líquido ou vapor do interior do produto para a superfície em contato com o ar quente que então se evapora, sendo transferido para o ar na forma de vapor de água. Este processo é fortemente influenciado pela temperatura e velocidade da corrente de ar que circula ao redor do produto (Strumillo e Kudra, 1989). Então com a secagem de produtos, obtém-se vida mais longa na prateleira reduzindo substancialmente as perdas.

No presente trabalho foi utilizado o caju in-natura que após higienização foram cortados em rodela e secados em um secador do tipo bandeja. Ao contrário da maioria dos trabalhos encontrados na literatura, onde utilizaram pré-tratamento com desidratação osmótica seguida de secagem convencional, conforme Marques (2006), Moura (2001) e Azoubel (2002).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Construção do secador

Neste estudo, os cajus produzidos na região Nordeste do Brasil, eram cortados em rodela e secados em um secador tipo bandeja, que foi construído com base na norma ISO5801 (1997), e instalado no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco em Recife-PE.

O secador consiste de quatro módulos básicos, conforme a Fig. (1). O Primeiro módulo contém um ventilador com controle de admissão do ar, através de um dumper instalado em sua entrada. O segundo módulo é composto por um conjunto de três resistências elétricas com 1 kW cada, responsável pelo aquecimento do ar para a secagem e vindo do primeiro módulo. O terceiro módulo é composto por dois dutos e um laminador de ar. O quarto e último módulo é a área de testes, onde é composto por medidores de temperatura e umidade do ar interno, uma janela de inspeção e uma bandeja onde são colocadas as amostras, em sua extremidade de saída contém um anemômetro.

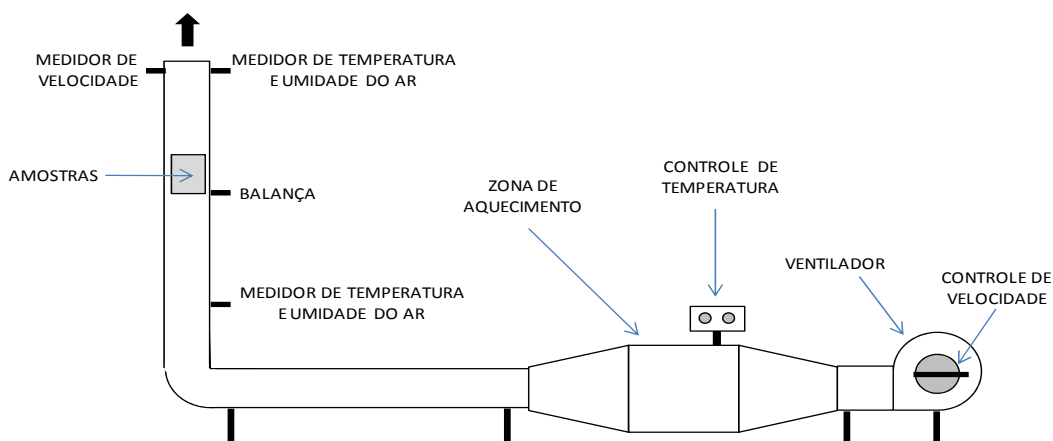


Figura 1. Esquema do secador de leito fixo.

O ventilador utilizado é do tipo centrífugo, montado em uma base e acionado por motor elétrico trifásico de 1,5CV através de correias em “V”, conforme Fig. (2). A Figura (3) mostra o sistema de distribuição elétrica, através de um quadro elétrico.



Figura 2. Conjunto moto-ventilador.



Figura 3. Quadro elétrico de comando.

Na entrada do ventilador está instalado um dumper tipo “faca” que controla a vazão de ar dentro do secador, e está identificada com as devidas velocidades que foram utilizadas nos experimentos, conforme Fig. (4).



Figura 4. Dumper de controle da vazão do ar de secagem.

A zona de aquecimento é composta por um conjunto de 3 resistências elétricas com potência de 1 kW cada, Fig. (5), na qual a resistência central (R2) tem a função de controlar a temperatura do ar de secagem através de um regulador de tensão (variatic) conforme Fig. (6). O conjunto é isolado com mantas de lã de rocha com 5 cm de espessura.



Figura 5. Conjunto de resistências com 3 kW de potência.



Figura 6. Regulador de tensão.

O ar de secagem ao passar pelo conjunto de resistências percorre através de dutos, confeccionados em tubo PVC-geomecânico, passa pela seção de teste e sai pela extremidade superior do secador. O ar antes de chegar à seção de teste ainda passa por um laminador que garante a uniformidade do ar, foi confeccionado com tubos de cobre unidos por pontos de solda e fixo ao tubo através de parafusos, Fig. (7).



Figura 7. Laminador de ar.

Na ultima parte do secador, observa-se a seção de testes e o bocal de saída do ar, mostrado na Fig. (8) em uma visão ampla do secador. A seção de teste possui uma portinha para o acesso ao interior do secador e dentro existe uma bandeja que acomodará as amostras ensaiadas, conforme Fig. (9).



Figura 8. Secador e a área de testes.



Figura 9. Seção de teste, com detalhes da bandeja.

## 2.2. Instrumentação

No secador foram instalados internamente 2 Termo-higrômetros, um antes e outro depois da seção de teste, a fim de se obter as variações de temperatura e umidade do ar durante a secagem, conforme mostrado na Fig. (10). Externamente ao secador foi utilizado um termo-higrômetro portátil, para o acompanhamento da temperatura e umidade do ar ambiente, Fig. (11).

Os valores das velocidades do ar foram obtidos através de medições realizadas no bocal de saída do secador, utilizando-se um anemômetro de “rotor”, conforme Fig. (12).



Figura 10. Termo-higrômetros internos.

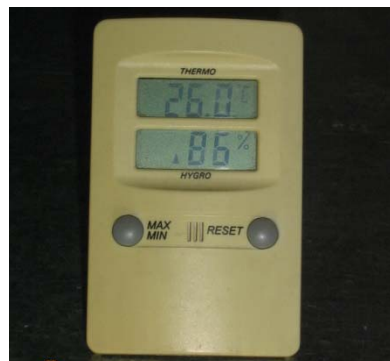


Figura 11. Termo-higrômetro externo.



Figura 12. Anemômetro, para medições de velocidade do ar.

O acompanhamento da perda de massa das amostras foram obtidas através de leituras constantes através de uma balança semi-analítica com precisão de 0,01g, conforme Fig. (13). Também foram levantadas as temperaturas internas do caju no decorrer da secagem, utilizando-se um logger com 8 canais, Fig. (14), através de termopares de 0,25 mm de espessura.



Figura 13. Balança semi-analítica.



Figura 14. Logger com 8 canais.



### 2.3. Ensaios

Os caju foram adquiridos no mercado local, sendo utilizados os maduros, cuja castanha exibiu a coloração cinza-castanha e o pedúnculo completamente vermelho. Foram descartados os caju que apresentavam injúria física, conforme Azoubel (2002).

Os caju com casca foram lavados em água destilada e cortados em rodela de 4, 7 e 10 mm de espessura, conforme a Fig. (15). Para o corte foi utilizado um conjunto de lâminas em aço inoxidável unidas por espaçadores de mesma dimensão das espessuras pretendidas, Fig. (16). Os ensaios foram realizados em 27 condições diferentes, variando-se as temperaturas do ar de secagem em 60, 70 e 80 °C e as velocidades do ar variando em 3, 4, e 5 m/s.

O teor de umidade final foi obtido através da observação da variação do peso, quando a amostra alcançasse um peso fixo e não apresentasse mais variações, para cada condição específica. A quantidade de massa seca foi determinada através de uma balança termogravimétrica, e cujo valor foi confirmado com a literatura, TACO (2006) que é de 88% de umidade.



Figura 15. Uma rodela da amostra sendo retirada.



Figura 16. Cortador de caju com lâminas ajustáveis.

### 3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Todos os dados experimentais foram adquiridos a cada 20 minutos. Para o estudo da cinética de secagem e os efeitos das principais variáveis do processo, foi utilizado o conteúdo de umidade na forma adimensional. Para obter o conteúdo de umidade foram utilizados os dados da perda de massa registrados pela balança e convertidos em conteúdo de umidade em base seca e adimensionalizado através da Eq. (1).

$$XR = \frac{(X - X_e)}{(X_o - X_e)} \quad (1)$$

Onde,  $X$  é a umidade para cada instante de tempo,  $X_e$  é a umidade de equilíbrio, e o  $X_o$  é a umidade inicial.

As Figuras (17)(18)(19), são gráficos do conteúdo de umidade em função do tempo de secagem, para diversas espessuras do caju, 4, 7 e 10 mm, respectivamente. Analisando o tempo de secagem em função da espessura da amostra (caju), observa-se que os tempos médios de secagem para as fatias de 4 mm é 140 min, de 7 mm é 260 min e 10 mm é 420 min, onde aponta um acréscimo no tempo de aproximadamente 86% entre as amostras de 4 e 7 mm, e um acréscimo de aproximadamente 62% entre as amostras de 7 e 10 mm. Também se observa nas mesmas figuras que as amostras ensaiadas com 80 °C, e velocidade de 5 m/s, secaram mais rápido, seguidas das ensaiadas com velocidade de 4 m/s.

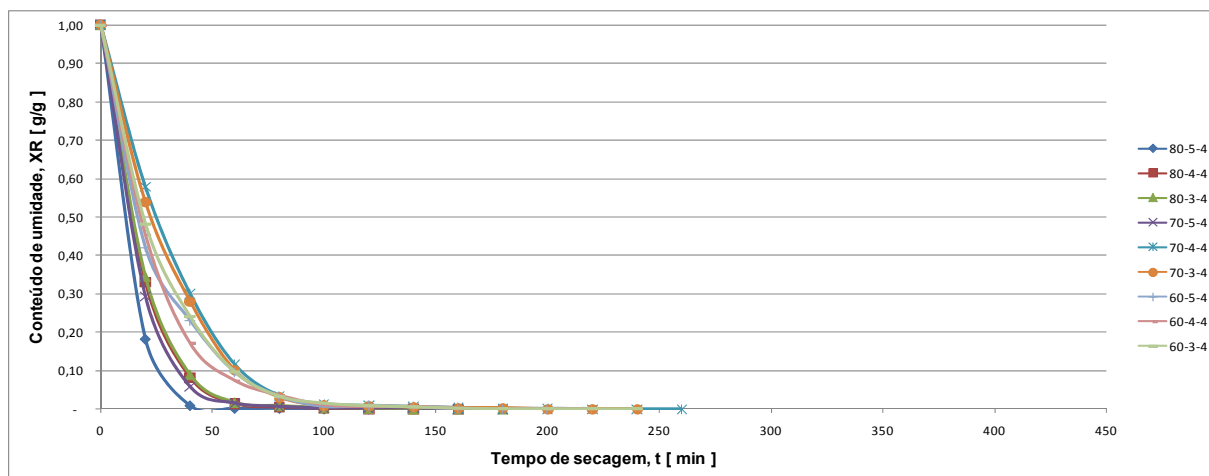


Figura 17. Gráfico do conteúdo de umidade em função do tempo de secagem, para fatia de 4 mm de espessura.

Na Figura (17) observa-se que as amostras ensaiadas com 70 °C, e velocidades de 3 e 4 m/s apresentaram o maior tempo de secagem e nas Fig. (18) e (19), as que apresentaram maior tempo foram as ensaiadas com 60 °C, e velocidade de 3 m/s.

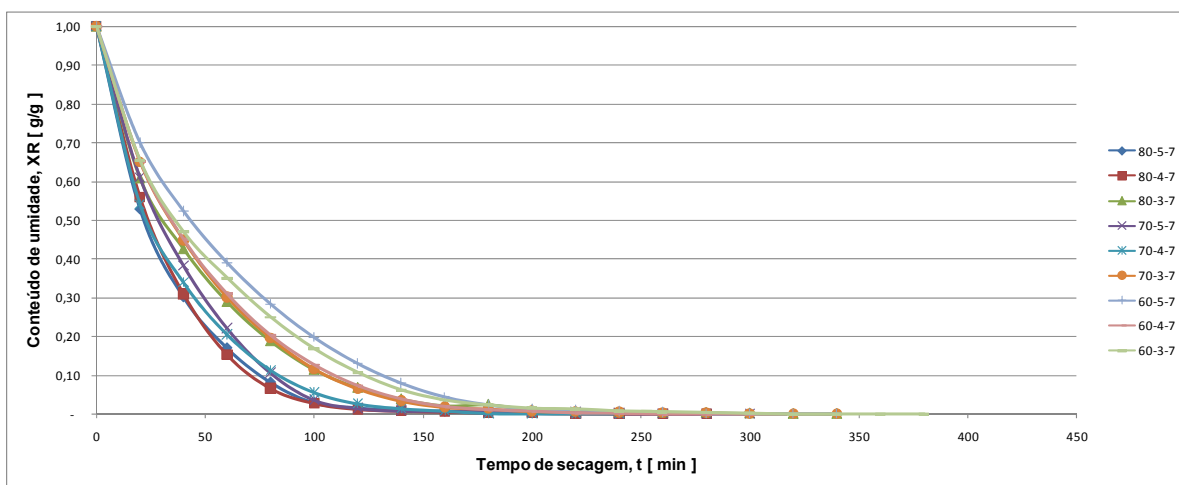


Figura 18. Gráfico conteúdo de umidade em função do tempo de secagem, para fatia de 7 mm de espessura.

Relacionando-se as temperaturas e velocidades das Fig. (17)(18)(19), observa-se que nas amostras com espessura de 4 e 10 mm, secaram mais rápido que as ensaiadas com velocidade de 5 m/s, já as amostras com 7 mm mostrou que secaram mais rápidas às ensaiadas com 4 m/s.

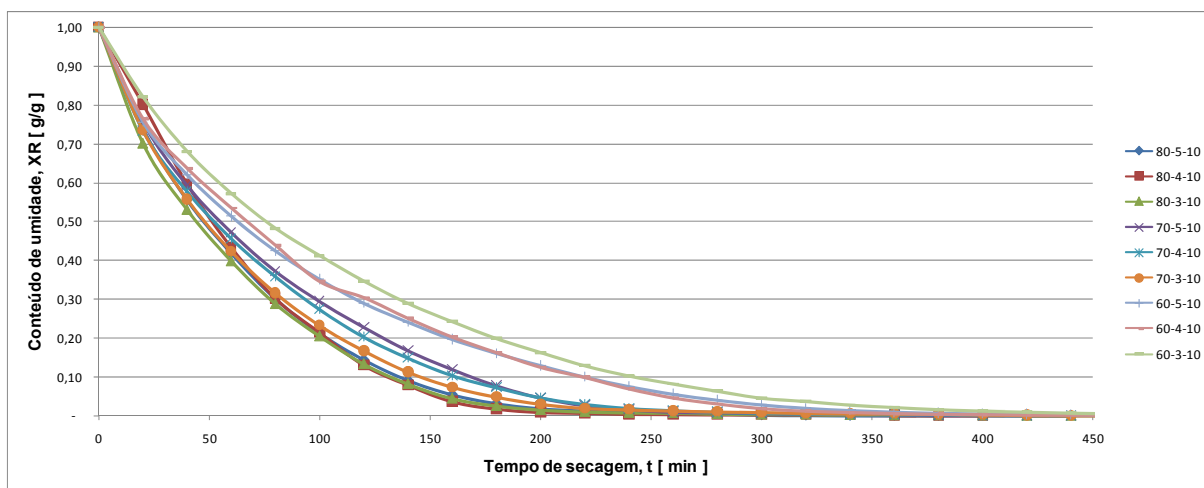


Figura 19. Gráfico conteúdo de umidade em função do tempo de secagem, para fatia de 10 mm de espessura.

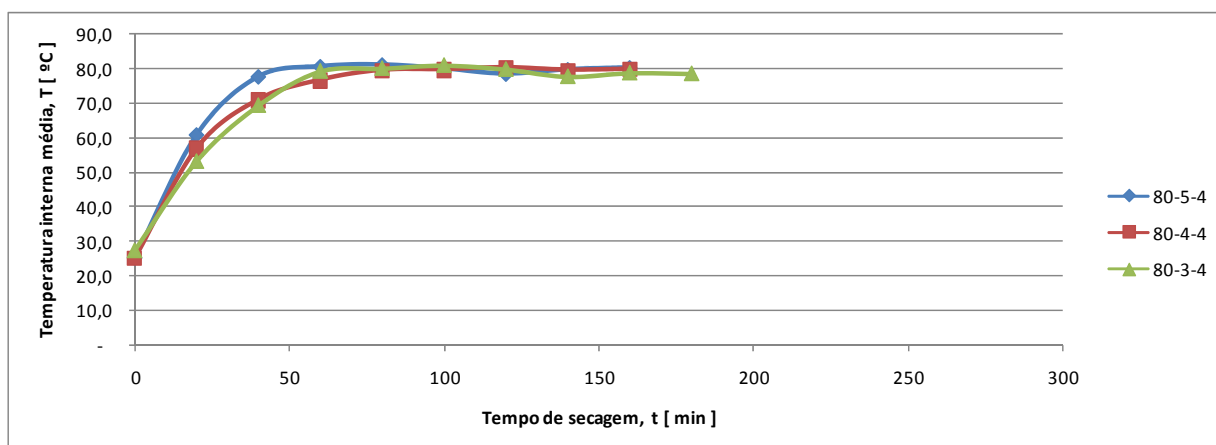


Figura 20. Gráfico da temperatura interna do caju a 80 °C em função do tempo de secagem, para fatia de 4 mm.

Nas Figuras (20)(21)(22), que são gráficos que representam uma evolução média da temperatura interna do caju em função do tempo de secagem para diversas espessuras do caju, 4, 7 e 10 mm, respectivamente. Tais gráficos

representam apenas os ensaios realizados a 80 °C. Nas mesmas figuras estão diferenciadas as velocidades do ar de secagem.

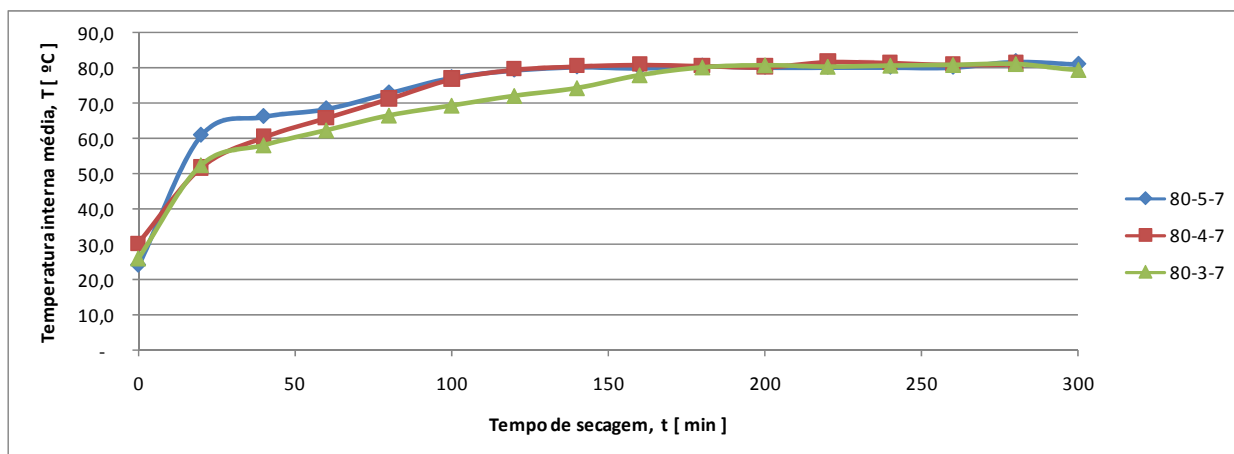


Figura 21. Gráfico da temperatura interna do caju a 80 °C em função do tempo de secagem, para fatia de 7 mm.

Podemos observar nas Fig. (20)(21)(22) que, quanto mais espessa a amostra, mais demorado é o tempo para se atingir a temperatura de ensaio. Esta observação também se aplica às demais condições onde as temperaturas utilizadas foram 60 e 70 °C, e que aqui não puderam ser mostradas.

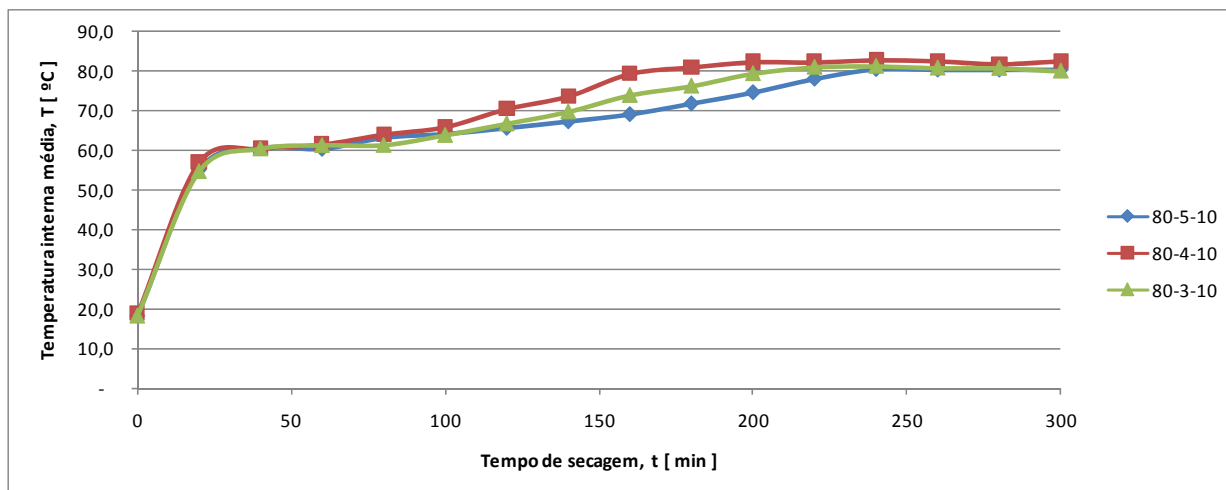


Figura 22. Gráfico da temperatura interna do caju a 80 °C em função do tempo de secagem, para fatia de 10 mm.

#### 4. CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que, utilizando materiais de baixo custo e uma instrumentação adequada, pode-se construir um secador do tipo bandeja simples que ocupe pequenos espaços, com a melhor condição, ou seja, o menor tempo de secagem e com isto, um menor custo para a obtenção do caju seco. Com a variação da temperatura do ar entre 60 e 80 °C, a velocidade do ar entre 3 e 5 m/s, e a espessura entre 4 e 10 mm, obteve-se uma gama de tempos para a secagem de fatias de caju. Como as amostras ao final da secagem apresentaram uma boa aparência, mantendo a coloração que não indique oxidação (escurecimento), é aceitável utilizar estas condições em processos produtivos sem a necessidade da utilização de pré-tratamentos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradeço a FACEPE/CAPES que contribuiu com a bolsa IBPG, e ao Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, que cedeu sua infra-estrutura para a montagem experimental.

#### 6. REFERÊNCIAS

Abreu, F.A.P.; Souza, A.C.R.; 2004; "Cajuína: Como Produzir com Qualidade"; EMBRAPA, Documentos 95, ISSN 1677-1915.

Azoubel, P.M.; 2002; "Influência de pré-tratamentos na obtenção de produtos secos do caju (*Anacardium occidentale* L.); Tese de Doutorado em engenharia de alimentos; UNICAMP-Campinas-SP.

Galvão, A.M.P.; 2006; “Aproveitamento da Fibra de Caju (*Anacardium Occidentale* L.) Na Formulação de Um Produto Tipo Hambúrguer”; Dissertação de mestrado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará,

Gouveia J.P.G., Moura, R.S.F., Almeida, F.A.C., Oliveira, A.M.V., Silva, M.M.; 2002; “Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental”; Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.3, p.471-474,

IBGE: Site Consultado em jan/2009: [http://www.ibge.gov.br/home/-Diretório: Producao\\_Agricola/Producao\\_Agricola\\_Municipal\\_\[anual\]/2007](http://www.ibge.gov.br/home/-Diretório: Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anual]/2007).

ISO 5801, “Industrial fans-performance testing using standardized airways”, 1997, first edition.

Marques, L.F.; 2006; “Processamento do pedúnculo do caju em avançado estágio de maturação: Desidratação osmótica e secagem para elaboração de passas de caju”; Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande-Paraíba.

Moura, R.S.F.; 2001; “Estudo da cinética de secagem de caju em um secador de leito fixo”; Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande-Paraíba.

Oliveira, V.H.; 2002; “Cultivo do Cajueiro Anão Precoce”; EMBRAPA, Edit. Embrapa, Sistema de Produção I, 40p. n.l.

Strumillo,C., Kudra, T.,”Drying: Principles, Applications and Design”, Gordon and Breach Sciences Publishers, 1989.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO-Versão 2; (2006); Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA e UNICAMP-Campinas – SP

## **7. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.





**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
**August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil**

## **EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE KINETICS OF DRYING OF SLICES OF FRESH CASHEW**

**Jacek Stanislaw Michalewicz, jacek.ifpe@gmail.com<sup>1</sup>**  
**José Carlos Charamba Dutra, charamba@ufpe.br<sup>2</sup>**  
**Jorge R. Henríquez Guerrero, rjorge@ufpe.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica de Pernambuco (IFPE-Recife)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

**Abstract.** *In the present work is shown the results of an experimental study of drying kinetics of slices of cashew fresh, without the use of pre-treatment and without removing the shell. The tests were performed in a fixed bed type dryer, varying the temperature of the drying air at 60, 70 and 80 c, the air velocity in 3, 4 and 5 m / s, slice thickness Cashew 4, 7 , and 10 mm. In the experiments, we obtained information that allowed to recording the most important parameters for investigation of drying. From the data obtained, we analysed the influence of the temperature of the drying air, air velocity, and thickness of the slice of cashew on the drying time and moisture content, as well as the behavior of the temperature inside the nuts in function the loss mass (humidity) and time for the various experimental conditions.*

**Keywords:** *Drying, tropical fruits, cashew*