

ISSN: 2447-5580

ANÁLISE DA SECAGEM DE AMÊNDOAS DE CACAU POR CONVECÇÃO FORÇADA A PARTIR DE DIFERENTES SECADORES

ANALYSIS OF FORCED CONVECTIVE AIR-DRYING OF COCOA BEANS IN DIFFERENT EQUIPMENT

Bruna Angélica Severo Engelhardt¹; Leonardo da Silva Arrieche²

- 1 Técnica em Química. IFES-Campus Aracruz, 2012. Graduanda em Engenharia Química do Centro Universitário Norte do Espírito Santo – CEUNES/UFES. São Mateus, ES. bruna_ase@hotmail.com
- 2 Doutor em Engenharia Química. Universidade Federal de São Carlos, 2007. Professor do Centro Universitário Norte do Espírito Santo – CEUNES/UFES. São Mateus, ES. leoarrieche@hotmail.com

Recebido em: 30/06/2016 - Aprovado em: 16/08/2016 - Disponibilizado em: 30/09/2016

RESUMO: A secagem das amêndoas do cacau é a etapa intermediária do processamento do chocolate e influencia as características típicas de sabor e aroma no produto final. O objetivo deste trabalho consistiu em analisar a secagem artificial das amêndoas, por convecção natural e forçada, utilizando quatro variedades de cacau, a citar Catongo, Comum, TSH1188 e CCN51. Avaliou-se estatisticamente o ajuste das equações dos modelos de cinética de secagem, para as condições operacionais selecionadas, utilizando o cacau do tipo Comum, por secagem em secador túnel de vento. As amêndoas foram fermentadas durante dois tempos diferentes, 5 dias e 7 dias, e dispostas em camada única em cada equipamento: estufa de convecção natural, leito fixo por convecção forçada (escoamento perpendicular à camada) e secador túnel de vento (escoamento paralelo à camada), à temperatura de 70°C. Cada tipo de cacau mostrou características diferenciadas de composição, encolhimento, quantidade de polpa e tempo de fermentação. Além disso, o tempo de secagem também foi distinguível entre os tipos de secadores utilizados, com predominância no período de taxa decrescente de secagem em leito fixo, com escoamento perpendicular à monocamada, aproximadamente, em 900 minutos. O modelo de Brooker foi o que melhor que se adequou aos dados de cinética de secagem. Essas informações serão úteis para o dimensionamento e simulação de secadores.

PALAVRAS-CHAVE: Secador de convecção. Umidade de equilíbrio. Cacau.

ABSTRACT: The drying of cocoa beans is the intermediate stage of chocolate processing and influence the characteristics typical taste and aroma of the final product. The objective of this study was to analyze the artificial drying of almonds, for natural and forced convection, using four cocoa varieties, quote Catongo, Common, TSH1188 and CCN51. We evaluated statistically setting the equations of drying kinetic models for selected operating conditions using cocoa common type, rotary drying wind tunnel. The beans were fermented for two different times, 5 days and 7 days, and arranged in a single layer on each machine: Natural convection oven, fixed bed by forced convection (flow perpendicular to the layer) and dryer wind tunnel (parallel flow to layer) at a temperature of 70 ° C. Each type of cocoa showed different characteristics of the composition, shrinkage, amount of pulp and fermentation time. Furthermore, the drying time was also distinguished between the types of dryers used, especially in the falling rate drying period in a fixed bed, with flow perpendicular to the monolayer, approximately in 900 minutes. The Brooker model was the best one suited to the drying kinetics data. This information will be useful for the design and simulation dryers.

KEYWORDS: Article. Dryer convection. Equilibrium moisture. Cocoa.

1. INTRODUÇÃO

O chocolate é o produto mais popular produzido a partir do cacau, *Theobroma cacao L.* A qualidade dos produtos finais se dá em função de como eles são trabalhados, com isso, a fermentação e secagem da cultura são os passos críticos principais na sequência de operações de seu processamento.

A secagem pode ser obtida naturalmente ou artificialmente. Assim, a secagem está diretamente relacionada com a qualidade dos produtos, no qual confronta com questões econômicas e melhorias de sua qualidade tecnológica e sensorial.

Sob o ponto de vista tecnológico, o método de secagem artificial de amêndoas de cacau se justifica pelo suprimento das exigências práticas da agroindústria, de forma a possibilitar a otimização da relação custo-benefício e o atendimento aos padrões de qualidade.

Sob o ponto de vista técnico-científico, justifica-se a realização desta pesquisa pela necessidade de fundamentação para o processo de secagem das amêndoas do cacau, através da aplicação dos princípios de engenharia química.

A secagem constitui uma fundamental importância para a preservação de suas características físicas e fisiológicas de sementes em geral. Dentre as inúmeras técnicas de secagem artificial disponíveis, a secagem de convecção forçada é a mais empregada.

A convecção ocorre sempre que um fluido escoar sobre uma superfície sólida que está a uma temperatura diferente do fluido. Se o movimento do fluido for induzido artificialmente, por alguma força externa, diz-se que a transferência de calor se processa por convecção forçada.

Além da importância técnico-científica, os secadores convectivos, são, ainda hoje, largamente empregados devido aos baixos custos de implantação e manutenção, à facilidade de operação e a sua grande

versatilidade, que lhes permitem ser utilizados para diferentes tipos de sementes. (PRADO, 1999; FERREIRA, 2003)

Um dos equipamentos utilizados foi o secador túnel de vento como a FIG. 1, desenvolvido pela Eco Educacional.



Figura 1 – Secador de convecção túnel de vento.
Fonte: Catálogo Eco Educacional, 2015.

Com base nesse contexto, vários estudos têm sido realizados utilizando diferentes técnicas de secagem. Assim, percebe-se a necessidade de novas pesquisas, na área de engenharia, direcionadas ao comportamento de sementes perante o fluido de secagem, além da representação da cinética de secagem por modelos empíricos e semi-empíricos.

Neste estudo, tem-se como objetivo promover a secagem artificial das amêndoas por convecção natural e forçada, utilizando quatro variedades de cacau, a citar Catongo, Comum, TSH1188 e CCN51 e a análise estatística do ajuste de equações de modelos de cinética de secagem, em secador túnel de vento.

Esse tipo de abordagem é justificado sob ponto de vista tecnológico, devido aos grandes desafios presentes nas indústrias em busca de um produto de boa qualidade.

Sob o ponto de vista científico, pela estrutura complexa que esse tipo de partícula apresenta em relação aos fenômenos de transporte envolvidos no processo.

2. METODOLOGIA

2.1. PREPARO DE SEMENTES

Foram utilizadas sementes de cacau, *Theobroma cacao L.*, provenientes das culturas cacaueiras do Norte do Espírito Santo, devido à importância econômica para essa região. Optou-se por quatro tipos de cacau: Catongo, Comum, TSH1188 e CCN51, conforme mostrado na FIG. 2.

Após a colheita do cacau, foram efetuadas as operações de abertura dos frutos e fermentação das sementes, por cinco e sete dias, retirando a polpa que as envolve, diminuindo assim o tempo de secagem.



Figura 2- Tipos de cacau (a) Catongo (b) Comum (c) TSH1188 (d) CCN51. Fonte: autoria própria, 2015.

2.2. TESTES DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS

Três tipos de secadores foram utilizados, a citar estufa de convecção natural, secador túnel de vento e um equipamento de leito fluidizado. Nesse último equipamento, foi adaptado um leito fixo com uma célula de secagem cilíndrica de acrílico, com 10 cm de diâmetro, 26 cm de altura e com 200 furos de diâmetro

0,05cm, para a distribuição do ar. A câmara de secagem foi acoplada na região de saída do ar, de forma a facilitar a sua retirada. Os testes de secagem foram conduzidos à temperatura de 70 °C, com velocidade do ar entre 0,5 e 3,0 m/s, na entrada do leito.

A determinação da umidade foi realizada medindo-se a massa das amêndoas, durante um intervalo de tempo de 30 minutos, até que a massa da amostra se mantivesse constante. Procedimento semelhante foi adotado para a determinação da massa de sólido seco, porém à temperatura de 105°C por 24 horas. A diferença entre a massa da amostra e a massa seca corresponde à massa de água contida nas amêndoas. Desse modo, foi possível determinar as umidades inicial e de equilíbrio dinâmico pela Eq. 1.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Em que U é o adimensional de umidade, M_u a massa de sólido úmido e M_s a massa de sólido seco.

2.3. CINÉTICA DE SECAGEM

Os dados de cinética de secagem foram interpretados a partir dos modelos reunidos na Tabela 1. O ajuste dos dados experimentais foi avaliado por meio do coeficiente de determinação, R^2 , teste-t, parâmetros, erros dos parâmetros e gráfico de umidade em função do tempo, usando o *software Origin®*. Na Tabela 1, tem-se:

A – Parâmetro das equações 1.1 a 1.4 (min^{-1})

B – Parâmetro das equações 1.1 a 1.4 (K)

K – Constante de secagem (min^{-1})

t – Tempo (min)

T – Temperatura (K)

UX – Adimensional de umidade

U – Umidade em base seca (adimensional)

e Subscritos:

eq – Equilíbrio
 i – inicial
 fl – fluido (FREIRE, J. T.; FERREIRA, M. C., 2009).

Tabela 1
 Equações de cinética de secagem utilizadas para materiais orgânicos

Equação	Referência
$UX = \frac{U-U_{eq}}{U_i-U_{eq}} = \exp(-Kt) \text{ onde,}$ $K = A \exp\left(\frac{-B}{T_{fl}}\right) \text{ (1.1)}$	BROOKER, D. B., et. al. (1974)
$UX = \frac{U-U_{eq}}{U_i-U_{eq}} = C \exp(-Kt) \text{ onde,}$ $K = A \exp\left(\frac{-B}{T_{fl}}\right) \text{ (1.2)}$	HENDERSON, J. M. & HENDERSON, S. M. (1968)
$UX = \frac{U-U_{eq}}{U_i-U_{eq}} = C \left[\exp(-Kt) + \frac{1}{9} \exp(-9Kt) \right] \text{ onde, } K = A \exp\left(\frac{-B}{T_{fl}}\right) \text{ (1.3)}$	PAGE, C. (1949)
$UX = \frac{U-U_{eq}}{U_i-U_{eq}} = \exp(-Kt^n) \text{ onde,}$ $K = A \exp\left(\frac{-B}{T_{fl}}\right) \text{ (1.4)}$	OVERHULTS, D. G., et. al. (1973)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. TESTES DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS

Foram realizados testes de secagem artificial das amêndoas em leito fixo, por convecção natural e forçada, com cada tipo de amêndoa, para diferentes dias de fermentação (5 e 7 dias). Desse modo, foi possível comparar os dados obtidos com os diferentes secadores e com diferentes tempos de

fermentação. A partir da medida de massa, em balança analítica, foi possível verificar o decréscimo de umidade de cada tipo das amêndoas em função do tempo e a análise estatística dos modelos das equações de cinética de secagem, em secador túnel de vento.

3.2. SECAGEM EM ESTUFA

A partir do gráfico representado na FIG. 3, foi possível verificar que no decorrer do experimento houve diminuição de massa distinta para cacau tipo Catongo. Observou-se que as amostras com 5 e 7 dias de fermentação possuem teores de umidade próximos a 50 % (b.u.) no início da secagem. Porém, amostras com 7 dias de fermentação apresentaram velocidade de secagem maior, uma vez que a curva de 7 dias (curva vermelha) se posiciona abaixo da curva azul. Isso pode ser causado por fermentação insuficiente em 5 dias, o que acarreta maior quantidade de polpa ainda aderida às amêndoas.

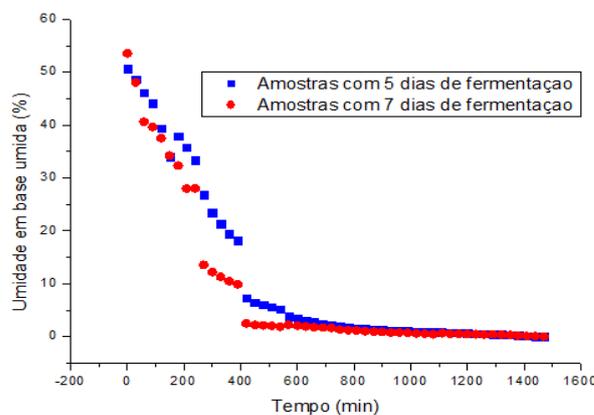


Figura 3 – Gráfico de umidade em função do tempo de secagem em estufa, cacau tipo Catongo a temperatura de 70°C.

A partir da FIG. 4, observou-se que as amostras de cacau tipo Comum, tanto em 5 ou 7 dias de fermentação, perderam massa com valores próximos, ou seja, com velocidades de secagem próximas. Isso

pode ser constatado pela sobreposição quase total das curvas.

Esses resultados foram bastante distintos em relação ao tipo Catongo, o que pode ser explicado pelos diferentes tamanhos de amêndoa, quantidade de polpa, teor de açúcares e umidade.

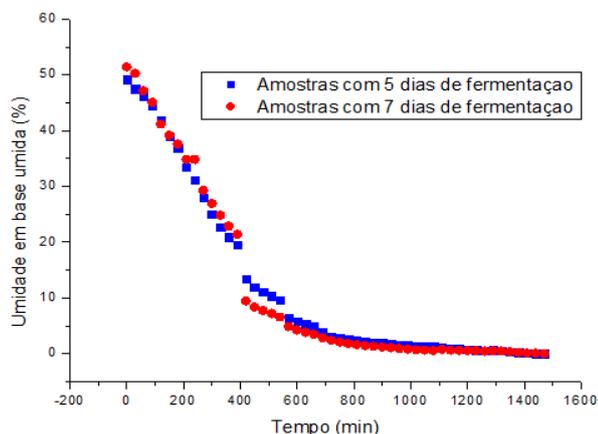


Figura 4 – Gráfico de umidade em função do tempo de secagem em estufa, cacau tipo Comum a temperatura de 70°C.

Essas variáveis podem ter afetado a fermentação e separação da polpa, no intervalo de tempo considerado, para os tipos estudados. Essa observação é de grande importância para a indústria do processamento de cacau. Evidencia que diferentes tipos do fruto devem ser processados em tempos de fermentação e secagem distintos, a fim de se obter as substâncias precursoras de sabor, desencadeadas pela fermentação e secagem.

A partir dos gráficos representados nas FIG. 5 e FIG. 6, foi possível verificar que apenas os dados de secagem com 5 dias de fermentação foram considerados.

Isso pode ser devido ao fato de que as amostras que fermentaram por 7 dias apresentaram desenvolvimento de fungos e odor desagradável no início do processo, tendo sido necessário interromper a secagem.

Assim, pode-se concluir que as espécies de cacau TSH1188 e CCN51 não precisam do mesmo tempo de fermentação que as demais. Isto indica que a fermentação para essas espécies deve ser interrompida com 5 dias de fermentação.

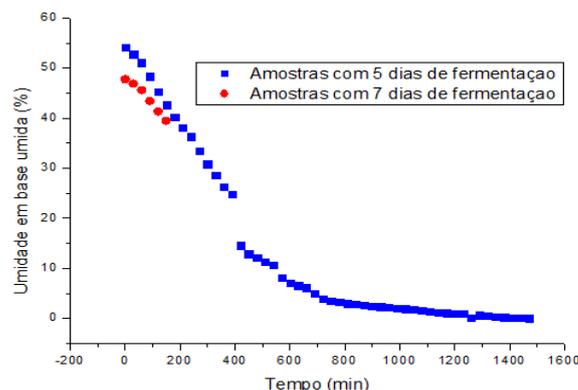


Figura 5 – Gráfico de umidade em função do tempo de secagem em estufa, cacau tipo TSH1188 a temperatura de 70°C.

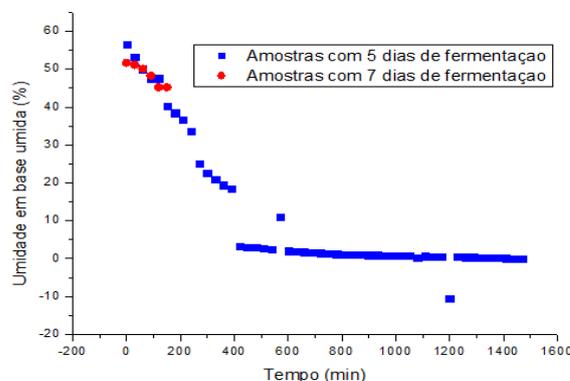


Figura 6 – Gráfico de umidade em função do tempo de secagem em estufa, cacau tipo CCN51 a temperatura de 70 °C.

Além disso, de acordo com as FIG 5 e FIG 6, as amêndoas apresentaram umidade inicial inferior para 7 dias de fermentação. Isso pode indicar variações na composição e/ou quantidade da polpa para as espécies de cacau TSH1188 e CCN51, durante a fermentação excessiva.

3.3. SECAGEM EM LEITO FIXO (ESCOAMENTO PERPENDICULAR À MONOCAMADA)

Analisando os gráficos nas FIG. 7, FIG. 8 e FIG. 9 foi possível verificar que, as amostras com 5 dias de fermentação possuem umidade maior no início da secagem, pois levou menos tempo para a separação da polpa por fermentação. Observou-se, também, que as amostras de cacau Catongo, em 5 dias de fermentação, perderam massa com velocidade menor, conforme constatado para o cacau Catongo seco em estufa (FIG. 3).

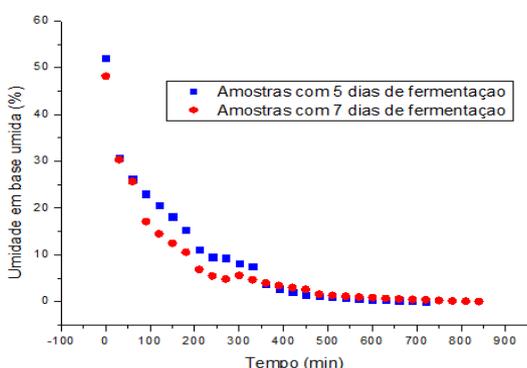


Figura 7 – Gráfico de umidade em função do tempo de secagem em leito fixo por convecção forçada, cacau tipo Catongo a 70 °C e 1 m/s.

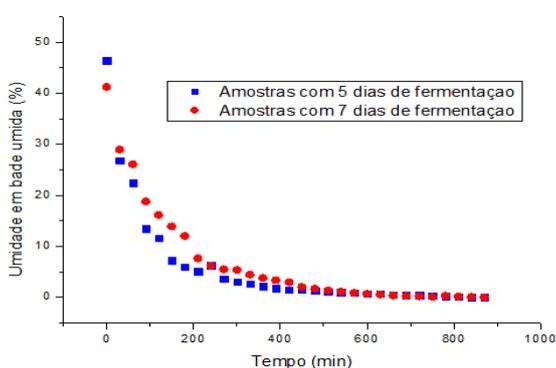


Figura 8 – Gráfico de umidade em função do tempo de secagem em leito fixo por convecção forçada, cacau tipo Comum a 70 °C e 1 m/s.

No gráfico representado na FIG. 10, foi possível

verificar resultados similares de perda de massa em função do tempo em cacau tipo CCN51.

No entanto, a secagem precisou ser interrompida, pois houve a proliferação de fungos. Isso pode indicar o início da putrefação ou fermentação excessiva em 5 e 7 dias, para esse tipo de cacau.

Outra informação relevante foi o tempo observado da secagem por convecção forçada e natural, ao se comparar os tipos de secadores. Observou-se que o tempo de estabilização de umidade das amêndoas pela secagem na estufa levou, aproximadamente, 1500 minutos; enquanto a secagem realizada em leito fixo por convecção forçada levou, aproximadamente, 800 minutos.

Verificou-se então, que a secagem em leito fixo por convecção forçada, é aproximadamente 50% mais rápida e possibilita a otimização de tempo de processos na produção de chocolates nas indústrias.

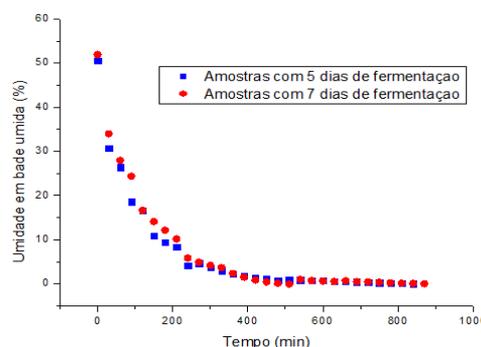


Figura 9 – Gráfico de umidade em função do tempo de secagem em leito fixo por convecção forçada, cacau tipo TSH1188 a 70°C e 1 m/s.

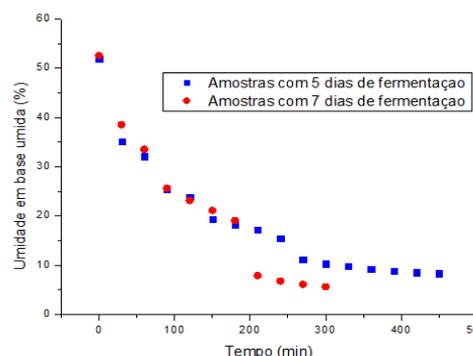


Figura 10 – Gráfico de umidade em função do tempo de secagem em leite fixo por convecção forçada, cacau tipo CCN51 a 70°C e 1 m/s.

3.4. SECAGEM EM TÚNEL DE VENTO (ESCOAMENTO PARALELO À MONOCAMADA)

De acordo com a FIG. 11, pode-se analisar os gráficos de secagem, a partir dos dados obtidos pelo *software Origin®*, utilizando o secador túnel de vento, com amêndoas processadas em 5 e 7 dias de fermentação. A partir da medida de massa, em balança analítica, foi possível verificar o decréscimo de umidade das amêndoas em função do tempo.

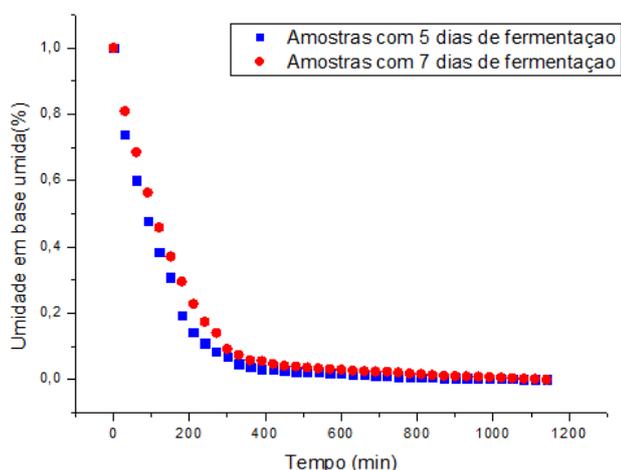


Figura 11 - Gráfico de umidade em função do tempo de secagem em túnel de vento por convecção forçada, cacau tipo Comum a 70 °C e 1 m/s.

Os resultados estatísticos para o ajuste de modelos de cinética de secagem aos dados experimentais, em túnel de vento, estão representados na Tabelas 2 e Tabela 3. Os modelos considerados foram Brooker, Henderson, Page e Overhults (Tabela 1) e os parâmetros estatísticos avaliados foram o coeficiente de determinação R^2 , erros dos parâmetros e teste-t, usando o *software Origin®*. Observou-se que todos os modelos, Brooker, Henderson, Page e Overhults, se ajustaram às curvas dos dados experimentais de

umidade versus tempo, quando o coeficiente de determinação é considerado (R^2).

Tabela 2

Resultados estatísticos da cinética de secagem, utilizando amostras processadas em 5 dias de fermentação

Amostras com 5 dias de fermentação				
Modelo	Brooker	Henderson	Page	Overhults
Coefficiente de determinação R^2	0,99691	0,99686	0,99686	0,99683
Parâmetro C	-	0,99366	0,99366	-
Erro Parâmetro C	-	0,01018	0,01018	-
Teste-t	-	97,61	97,61	-
Parâmetro K	0,0085	0,00853	0,00853	0,00842
Erro Parâmetro K	1,10259 E-4	1,40262 E-4	1,40262 E-4	9,60521 E-4
Teste-t	77,09	60,81	60,81	8,77

Observou-se que o melhor modelo que se ajustou na cinética de secagem foi o modelo de Brooker, utilizando amostras de amêndoas processadas em 5 dias de fermentação, em que se obteve um valor de teste-t de 77,09. Quanto maior o valor de teste-t, melhor o modelo se ajusta na equação de cinética de secagem, pois os parâmetros do modelo ajustado são mais significativos. Logo, obteve-se um resultado satisfatório, que representa um erro de, aproximadamente, 77 vezes menor que o parâmetro estudado.

Tabela 3
Resultados estatísticos da cinética de secagem,
utilizando amostras processadas em 7 dias de
fermentação

Amostras com 7 dias de fermentação				
Modelo	Brooke r	Henders on	Page	Overhu lts
Coefficient e de determina ção R ²	0,9965 3	0,9966	0,9966	0,99715
Parâmetro C	-	1,01445	1,0144 5	-
Erro Parâmetro C	-	0,01067	0,0106 7	-
Teste-t	-	95,07	95,07	-
Parâmetro K	0,0068 9	0,00699	0,0069 9	0,00486
Erro Parâmetro K	9,0022 5E-5	1,15452 E-4	1,1545 2E-4	5,69625 E-4
Teste-t	76,54	60,54	60,54	8,53

4. CONCLUSÃO

Cada espécie de cacau mostrou características diferenciadas de composição, quantidade de polpa, tempo de fermentação e secagem. A fermentação pode ser reduzida para 5 dias utilizando cacau do tipo Comum, pois a umidade da amêndoa apresentou valores próximos comparando-as com a fermentação durante 7 dias. Isso indica uma possível redução no tempo total para o processamento do chocolate. Esses resultados foram bastante distintos em relação

ao tipo Catongo, pelo diferente tamanho de semente e quantidade de polpa.

Assim, evidencia que diferentes tipos do fruto devem ser processados em tempos de fermentação e secagem distintos. Devido às amostras apresentarem desenvolvimento de fungos e odor desagradável, para as espécies de cacau TSH1188 e CCN51, pode-se concluir que amêndoas desses tipos não precisam do mesmo tempo de fermentação que as demais.

Concluiu-se que a secagem em leito fixo, com escoamento perpendicular à monocamada, foi mais rápida. O encolhimento e a forma das amêndoas também foram distinguíveis entre os tipos de secadores utilizados.

Foi possível verificar que, os modelos das equações de cinética de secagem possuíram resultados próximos, quando se comparou as amostras processadas durante 5 e 7 dias de fermentação. Observou-se, também, que o melhor modelo que se ajustou à cinética de secagem experimental foi o modelo de Brooker.

De forma geral, este trabalho se mostrou importante para o desenvolvimento do processo de produção e desenvolvimento de chocolates nas indústrias. Obteve-se maiores informações sobre o efeito da secagem nas amêndoas de cacau, que evidenciaram a necessidade de estudos futuros, considerando tipo de fruto, tempo de fermentação e técnica de secagem.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo: 449840/2014-0), e à UFES.

6. REFERÊNCIAS

- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. *Drying and storage of grains and oilseeds*. An AVI Book published by Van Nostran Reinhold, New York, 1992, p. 450.
- CHINENYE, N.M.; OGUNLOWO, A.S.; OLUKUNLE, O.J. *Cocoa Bean (Theobroma Cacao L.) Drying Kinetics*. Chilean Journal of Agricultural Research, 2010, v. 70, n. 4, p. 633-639.
- COLESTINO, S. M. C. *Princípios de Secagem de Alimentos*. Planaltina. DF: Embrapa Cerrados, 2010, p. 51.
- ECO EDUCACIONAL; Disponível em: <<http://ecoeducacional.com.br/#empresa>> Acesso em: 08 de maio de 2015.
- FERREIRA, M.M.P. *Desenvolvimento, caracterização e secagem de sementes com cobertura artificial*. Doutorado, PPG-EQ/UFSCAR, 2003, p. 235.
- FREIRE, J. T.; FERREIRA, M. C. *Aplicações em sistemas particulados*. São Carlos-SP, 2009, p. 364.
- NEVES, E.; PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; BAUDET, L.; PERES, W. B. *Secagem de sementes de milho em espiga, em função da altura da camada e fluxo de ar*. Revista Brasileira de Sementes, 2005, v. 27, n. 2, p.117-124.
- PEÇANHA, R. P., MASSARANI, G. *Dimensão Característica e Forma de Partículas*. Anais do XIV Encontro sobre escoamento em Meios Porosos, Campinas, 1986, p.302-312.
- PRADO, M.M. *Secagem de sementes de mamão papaya*. Mestrado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos-SP, 1999, p. 108.