



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DISSERTAÇÃO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ARMAZENAMENTO E
PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

SECAGEM SOLAR E CONVENCIONAL DE AMÊNDOAS DE JACA

HERMEVAL JALES DANTAS

Campina Grande, Paraíba

FEVEREIRO, 2007

SECAGEM SOLAR E CONVENCIONAL DE AMÊNDOAS DE JACA

HERMEVAL JALES DANTAS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

**ORIENTADORES: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Prof.^a Dr.^a Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

Campina Grande, Paraíba

FEVEREIRO, 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

D192s

2007 Dantas, Hermeval Jales

Secagem solar e convencional de amêndoas de jaca/ Hermeval Jales
Dantas. — Campina Grande, 2007.

125f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências

Orientadores: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz e Prof.
Dr^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo.

1. *Artocarpus heterophyllus* 2. Secador Solar 3. Resíduo I. Título.

CDU – 66.047.44:634.393



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

HERMEVAL JALES DANTAS

SECAGEM SOLAR E CONVENCIONAL DE AMÊNDOAS DE JACA

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Alexandre J M Queiroz
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz - Orientador

APROVADO

Rossana Maria F. de Figueiredo
Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueiredo - Orientadora

Aprovado

Vimário Simões Silva
Dr. Vimário Simões Silva – Examinador

APROVADO

Mário Eduardo R.M.Cavalcanti Mata
Dr. Mário Eduardo R.M.Cavalcanti Mata – Examinador

A PROVADO

FEVEREIRO - 2007

DEDICATÓRIA

***A minha esposa Fabiana, meu filho Walter; a
dona Maria José, a meu pai, irmãos e sobrinha,
pela confiança e compreensão.***

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua “paciência”.

Ao Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, pela sua orientação, incentivo, encorajamento, suas valiosas sugestões e por tornar possível a realização deste trabalho.

A Prof^a. Dr^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, pela sua orientação, sinceridade, paciência e por me permitir absorver um pouco do seu conhecimento.

Aos Professores Dr. Mario Eduardo R. M. Cavalcanti Mata e Dr. Vimário Simões Silva pelas valiosas contribuições e sugestões realizadas neste humilde trabalho.

A todos os professores do CTRN que colaboraram nesta minha longa e difícil caminhada: Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida, Dr. Francisco de Assis Santos e Silva, Dr^a. Josivanda Palmeira Gomes, Dr. Juarez Paz Pedroza, Dr^a. Maria Elita Martins Duarte.

Ao Dr. José Rildo pelo apoio, amizade e explicações dos causos na jornada deste trabalho.

Ao amigo e primo Dr. Luizinho pelos ensinamentos políticos, incentivo e por ser completamente diferente do normal, receba!

Aos funcionários em especial a Dr. Renato, Flavio, Jaziel, Luciene, Antônio, Paula, Diogo, Júlio Cesar (a caixa da responsabilidade), Beto, Silas, aos vigilantes da noite; em especial Senhor Santos.

À Capes, que financiou a concretização desta difícil jornada.

A Rivanilda, secretária do Departamento de Engenharia Agrícola pelo carinho e atenção por todas às vezes que dela necessitei.

Aos amigos de copo de café e companhia a Jozan, João Carlos, Adriano Santana, Marcondes (que quase aniquilou o seu povo em uma disciplina), Ezenildo, Regilane, Wolia, Anny Kelly, Adalberto, Clovis, José Carlos, Aleksandra, Manuel, Kareem, Márcia, Cibele, Tatiane, Bárbara, Lívia, Miriam, Iany Jean, Karla e a outros que neste momento não consigo recordar.

Ao Dr. Renilson e a secretária Eires, pela atenção e disponibilização dos dados meteorológicos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Objetivo geral	2
1.1.1 – Objetivos específicos	2
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 – Jaqueira	4
2.2 - Teor de água	5
2.2.1 Métodos de determinação do teor de água	7
2.2.2 Teor de água de equilíbrio	8
2.3 – Secagem	9
2.3.1 Teorias de secagem	13
2.3.1.1 - Teoria da difusão líquida	13
2.3.1.2 - Teoria capilar	15
2.3.1.3 - Teoria da condensação- evaporação	16
2.3.1.4 - Teoria de Luikov	16
2.3.1.5 - Teoria de Philip e De Vries	16
2.3.1.6 - Teoria de Krischer	17
2.3.2 - Cinética de secagem	17
2.3.2.1 - Equações matemáticas para secagem em camada fina	18
2.3.3 - Secagem natural	21
2.3.4 - Secagem artificial	23
3 - MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 - Local de realização	25
3.2 - Material de estudo	25
3.3 - Preparo das amostras	25
3.4 - Secadores	26
3.4.1 - Secador solar para uso diurno	26
3.4.2 - Secador acumulador de energia solar para secagem no período	26

noturno (ACSN)	
3.4.2.1 - Coletores solares	27
3.4.2.2 - Reservatório térmico	27
3.4.2.3 - Câmara de secagem	28
3.3.2.4 - Montagem e funcionamento do secador ACSN	29
3.5 - Secagem em secador solar	30
3.5.1 - Secagem por exposição direta ao sol combinada com o secador ACSN	30
3.5.2 - Secagem por exposição direta ao sol durante o dia e a noite, em abrigo	30
3.5.3 - Secagem em secador solar de uso diurno combinado com o secador ACSN	31
3.5.4 - Secagem em secador solar durante o dia e a noite em abrigo	31
3.6 - Secagem em estufa	31
3.7 - Análise dos dados	31
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 - Cinética de secagem da amêndoa de jaca	34
4.1.1 - Secagem das amêndoas de jaca em estufa	34
4.1.1.1 - Secagem das amêndoas inteiras com película (ICP)	34
4.1.1.2 - Secagem das amêndoas inteiras sem película (ISP)	41
4.1.1.3 - Secagem das amêndoas em metades com película (MCP)	46
4.1.1.4 - Secagem das amêndoas em metades sem película (MSP)	51
4.1.1.5 - Secagem das amêndoas moídas	56
4.1.2 - Secagem solar das amêndoas de jaca	61
4.1.2.1 - Secagem por exposição direta ao sol durante o dia combinada com secador ACSN ou abrigo, no período noturno	61
4.1.2.2 - Secagem em secador solar durante o dia combinada com secador ACSN ou abrigo, no período noturno	67
4.1.3 - Comparação das secagens solar e em estufa das amêndoas de jaca	71
4.1.3.1 - Secagem com secador ACSN e sol direto comparada	71

com secagem em estufa	
4.1.3.2 - Secagem com secador solar durante o dia comparada com secagem em estufa	73
4.1.3.3 - Secagem com secador ACSN combinado com secador solar de uso diurno, comparada com secagem em estufa	75
5 – CONCLUSÕES	78
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APÊNDICE A	99
APÊNDICE B	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tipos de umidade	7
Figura 2.2 – Evolução da umidade, temperatura e velocidade de secagem ao longo do tempo	12
Figura 3.1 – Secador solar para uso diurno	26
Figura 3.2 – Coletores solares	27
Figura 3.3 – Reservatório térmico	28
Figura 3.4 – Câmara de secagem	28
Figura 3.5 – Sistema completo do secador ACSN	29
Figura 4.1 - Curvas de secagem das amêndoas ICP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C	35
Figura 4.2 - Cinética de secagem de amêndoas ICP a 40 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional	38
Figura 4.3 - Cinética de secagem de amêndoas ICP a 50 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional	39
Figura 4.4 - Cinética de secagem de amêndoas ICP a 60 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional	39
Figura 4.5 - Cinética de secagem de amêndoas ICP a 70 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional	40
Figura 4.6 - Cinética de secagem de amêndoas ICP a 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional	40
Figura 4.7 - Curvas de secagem das amêndoas ISP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C	41
Figura 4.8 - Cinética de secagem de amêndoas ISP a 40 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional	44
Figura 4.9 - Cinética de secagem de amêndoas ISP a 50 °C com ajustes pelos	44

modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

- Figura 4.10** - Cinética de secagem de amêndoas ISP a 60 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional 45
- Figura 4.11** - Cinética de secagem de amêndoas ISP a 70 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional 45
- Figura 4.12** - Cinética de secagem de amêndoas ISP a 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional 46
- Figura 4.13** - Curvas de secagem das amêndoas MCP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C 47
- Figura 4.14** - Cinética de secagem de amêndoas MCP a 40 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional 49
- Figura 4.15** - Cinética de secagem de amêndoas MCP a 50 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional 49
- Figura 4.16** - Cinética de secagem de amêndoas MCP a 60 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional 50
- Figura 4.17** - Cinética de secagem de amêndoas MCP a 70 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional 50
- Figura 4.18** - Cinética de secagem de amêndoas MCP a 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional 51
- Figura 4.19** - Curvas de secagem das amêndoas MSP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C 52
- Figura 4.20** - Cinética de secagem de amêndoas MSP a 40 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional 54

Figura 4.21 - Cinética de secagem de amêndoas MSP a 50 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional	54
Figura 4.22 - Cinética de secagem de amêndoas MSP a 60 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional	55
Figura 4.23 - Cinética de secagem de amêndoas MSP a 70 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional	55
Figura 4.24 - Cinética de secagem de amêndoas MSP a 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional	56
Figura 4.25 - Curvas de secagem das amêndoas moídas nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C	57
Figura 4.26 - Cinética de secagem de amêndoas moídas a 40 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico	59
Figura 4.27 - Cinética de secagem de amêndoas moídas a 50 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico	59
Figura 4.28 - Cinética de secagem de amêndoas moídas a 60 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico	60
Figura 4.29 - Cinética de secagem de amêndoas moídas a 70 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico	60
Figura 4.30 - Cinética de secagem de amêndoas moídas a 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico	61
Figura 4.31 - Secagem das amêndoas ICP por exposição direta ao sol durante o dia, combinada com secador ACSN e ao abrigo (testemunha) durante o período noturno	65
Figura 4.32 - Secagem das amêndoas ISP por exposição direta ao sol durante o	66

dia, combinada com secador ACSN e ao abrigo (testemunha) durante o período noturno	
Figura 4.33 - Secagem das amêndoas MCP por exposição direta ao sol durante o dia, combinada com secador ACSN e ao abrigo (testemunha) durante o período noturno	66
Figura 4.34 - Secagem das amêndoas MSP por exposição direta ao sol durante o dia, combinada com secador ACSN e ao abrigo (testemunha) durante o período noturno	67
Figura 4.35 - Curvas de secagem das amêndoas ICP nos secadores de uso diurno, ACSN e a testemunha	70
Figura 4.36 - Curvas de secagem das amêndoas ISP nos secadores de uso diurno, ACSN e a testemunha	70
Figura 4.37 - Curvas de secagem das amêndoas MCP nos secadores de uso diurno, ACSN e a testemunha	71
Figura 4.38 - Curvas de secagem das amêndoas MSP nos secadores de uso diurno, ACSN e a testemunha	71
Figura 4.39 - Comparação da secagem das amêndoas ICP no secador ACSN, combinada com sol direto e na estufa a 40 e 50 °C	72
Figura 4.40 - Comparação da secagem das amêndoas ISP no secador ACSN, combinada com sol direto e na estufa a 40 e 50 °C	72
Figura 4.41 - Comparação da secagem das amêndoas MCP no secador ACSN, combinada com sol direto e na estufa a 40 e 50 °C	73
Figura 4.42 - Comparação da secagem das amêndoas MSP no secador ACSN, combinada com sol direto e na estufa a 40 e 50 °C	73
Figura 4.43 - Comparação das secagens em secador solar e em estufa, das amêndoas ICP	74
Figura 4.44 - Comparação das secagens em secador solar e em estufa, das amêndoas ISP	74
Figura 4.45 - Comparação das secagens em secador solar e em estufa, das amêndoas MCP	75
Figura 4.46 - Comparação das secagens em secador solar e em estufa, das amêndoas MSP	75
Figura 4.47 - Curvas de secagem das amêndoas ICP com energia solar e em	76

estufa a 40 e 50 °C

- Figura 4.48** - Curvas de secagem das amêndoas ISP com energia solar e em estufa a 50 e 60 °C 76
- Figura 4.49** - Curvas de secagem das amêndoas MCP com energia solar e em estufa a 60 e 70 °C 77
- Figura 4.50** - Curvas de secagem das amêndoas MSP com energia solar e em estufa a 40 e 50 °C 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação botânica da jaqueira	4
Tabela 2.2 - Composição química das sementes de jaca	5
Tabela 4.1 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem da amêndoa de jaca ICP	37
Tabela 4.2 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem da amêndoa de jaca ISP	43
Tabela 4.3 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem da amêndoa de jaca MCP	48
Tabela 4.4. Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logaritmo e difusional, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem da amêndoa de jaca MSP	53
Tabela 4.5 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem da amêndoa de jaca moída	58
Tabela 4.6 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico, com respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem com exposição direta ao sol e secador ACSN (T=testemunha)	63
Tabela 4.7 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM), da cinética de secagem das amêndoas utilizando-se os secadores de uso diurno e secador ACSN (T=testemunha)	68

RESUMO

Propôs-se, neste trabalho, estudar a secagem de amêndoas de jaca em secadores solares e em estufa. Foram utilizadas amêndoas inteiras com a película mais externa, de cor branca, que as envolve, amêndoas inteiras sem película, amêndoas em metades com película, amêndoas em metades sem película e amêndoas moídas. As amêndoas foram secas em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C. Dois secadores foram construídos com vistas à secagem solar, um para secagem durante o dia e outro baseado na acumulação de calor, captado por meio de coletores solares planos, para secagem noturna. O secador solar para uso diurno consistiu de uma caixa quadrada, em chapa de zinco revestida internamente com lâminas de isopor pintadas de preto, tendo por cobertura uma placa de vidro plano. O secador solar para uso noturno foi montado de forma a aquecer a água durante o dia, armazená-la em um reservatório térmico e fazê-la circular em um trocador de calor durante a noite de forma a fornecer calor para uma câmara de secagem. A câmara de secagem foi construída em chapa de zinco e revestida internamente em isopor, sendo provida de um trocador de calor constituído de uma serpentina de tubo de cobre com diâmetro nominal de $\frac{3}{4}$ de polegada. O secador para uso noturno era composto de dois circuitos de circulação de água independentes, dotados de registros a fim de se controlar a circulação de água entre os coletores solares e o reservatório térmico ou entre o reservatório e a câmara de secagem. Durante o dia funcionava o circuito formado pelos coletores solares e o reservatório. Com o entardecer, este circuito era interrompido enquanto os registros destinados a fazer circular água no circuito da câmara de secagem eram abertos; em ambos os circuitos, a circulação de água ocorria por meio do princípio do sifão térmico, funcionando pela diferença de nível dos coletores em relação ao reservatório térmico e do reservatório térmico quanto à câmara de secagem. Os modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e Logarítmico foram ajustados às curvas de cinéticas de secagem das amostras em estufa e nos secadores solares. O tempo de secagem em estufa variou de 23 a 79 horas e, a secagem utilizando-se os secadores solares, variou de 32,5 a 36 horas. A secagem nos secadores solares teve desempenho variável, equivalendo a secagens na estufa em temperaturas entre 40 e 70 °C dependendo das condições do tempo. A utilização do secador noturno resultou em uma secagem de baixa velocidade, porém superando sempre a perda de água da testemunha, que chegou a ter aumentada a sua umidade no período da noite. Os ajustes com os modelos utilizados foram satisfatórios, com destaque para os de Page, Logarítmico e Henderson.

Palavras-chave: *Artocarpus heterophyllus*, camada fina, modelagem matemática, resíduo.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the drying of jack fruit almonds in solar dryers and in stove. Whole almonds with the most external peel, white, that involves them, whole almonds without peel, almonds with peel in half of them, almonds without peel in half of them and grinded almonds were studied. The almonds were dried in stove with circulation of air in temperatures of 40, 50, 60, 70 and 80 °C. The solar drying was accomplished with two dryers, one for drying during the day and the other was based on the accumulation of heat captured through plane solar collectors and the use of the heat for night drying. The solar dryer for use in the day consisted of a square box, in zinc plate covered internally with sheets of isopor painted of black, and covered with plane glass. The solar dryer for night use was set up to heat up water during the day, to store it in a thermal box and to do it circulate in a dressing room of heat during the night to supply heat for a drying box. The drying box was built of zinc plate and covered internally with isopor. The dressing room of heat consisted of a copper tube serpentine with nominal diameter of $\frac{3}{4}$ inch in its interior. The dryer for night use was composed of two independent circuits of water circulation, provided of taps in order to control the circulation of water between the solar collectors and the thermal reservoir or between the reservoir and the drying camera. During the day, the circuit formed by the solar collectors and the reservoir was opened. In the evening, this circuit was interrupted, while the taps destined to provoke the water circulation in the drying camera circuit were opened. In both circuits, the circulation of water happened through the thermal siphon principle, functioning because of the level of difference of the collectors in relation to the thermal reservoir and of the thermal reservoir in relation to the drying camera. The drying kinetics in stove and in the solar dryers were fitted using Page, Henderson, Henderson & Pabis and Logarithmic models. The drying time in stove varied of 23 at 79 hours. The drying using the solar dryers varied of 32.5 to 36 hours. The drying in the solar dryers had a variable performance, equivalent to drying in the stove in temperatures between 40 and 70 °C depending of the climate conditions. The use of the night dryer resulted in low speed drying, however it always overcame the loss of water of the witness, which had its moisture increased in the night period. The fittings were satisfactory for all the drying, with prominence for Page, Logarithmic and Henderson models.

Keywords: *Artocarpus heterophyllus*, thin-layer, mathematical modeling, residue.

1 - Introdução

A jaqueira, *Artocarpus heterophyllus* Lam. [sin. *A. integra* (Thumb.) Merr.; *A. Integrifólia*.; *A. integrifolius* Aut.], é uma árvore tropical de origem indiana; nativa das florestas pluviais do oeste, se disseminou por outras partes da Índia e, posteriormente, por todo o sudoeste asiático, Indonésia e Filipinas. Segundo RAHMAN et al. (1999) a jaqueira pertence à família das Moráceas e tem, como parentes próximos, a árvore da fruta-pão (*A. altilis*), a champedaque (*A. chapeden* e *A. integer*) e outras frutíferas do gênero *Artocarpus* (Ochse citado por SILVA, 2002). É uma árvore de porte ereto, cilíndrico, que atinge 20 a 25 m de altura, com diâmetro que chega a superar 1 m; sua copa é densa e irregular. Como a maioria das moráceas, a planta é laticífera, produz um látex branco e pegajoso que aparece em todas as partes vegetais (Correa citado por SILVA, 2002).

No Brasil, onde foi introduzida pelos portugueses no século 17, tornou-se comum nas áreas úmidas do Nordeste e no Norte e, em menor escala, no Centro-Oeste e no Sul do País. A jaqueira representa grande potencial socioeconômico, tanto para os mercados interno e externo de comercialização de frutas *in natura* como para a industrialização (SILVA, 2002).

No nordeste brasileiro, particularmente no estado da Paraíba, não há dados oficiais de sua cultura pelo fato deste fruto ser comercializado de maneira informal; trata-se, porém, de uma cultura de razoável escala, como pode ser observado pela comercialização em feiras livres ou mesmo à beira de estradas, no estado (SILVEIRA, 2000).

Embora a maioria das frutas apresente teor de proteínas relativamente baixo, muitas são de alto valor biológico. A escassez de produtos de baixo custo e alto valor nutritivo tem levado pesquisadores a buscar fontes alternativas de proteínas que atendam às questões de baixo custo de produção (RODRIGUES, 2004); neste contexto, o aproveitamento de sementes de jaca, ricas em amido, apresenta-se como uma opção, tanto para o consumo na forma de amêndoas inteiras como no enriquecimento alimentar, embora não se tenha conhecimento da utilização comercial nem industrial desse material com tais fins. As sementes cozidas se assemelham ao pinhão ou castanha; assadas e moídas, dão uma farinha com 6,6% de proteínas, 18% de aminoácidos e 25,8% de carboidratos, com alto valor nutritivo que, adicionados em até 50% à farinha de trigo, são úteis na fabricação de biscoitos, bolos e outros produtos de panificação (Santos et al. citado por SILVA, 2002).

A conservação de alimentos por secagem natural, ou seja, ao sol ou pela ação do vento, é praticada há milhares de anos; hoje, em todas as partes do mundo produtos

agrícolas de origem vegetal e animal são submetidos a secagem natural ou artificial. A secagem é um processo de eliminação da água de um produto por evaporação, envolvendo transferência de calor e massa. São necessários o fornecimento de calor para evaporar a água do produto e um sorvedor para remover o vapor d' água formado na superfície do produto a ser seco. O processo de secagem pode envolver três meios de transferência de calor: convecção, condução e radiação. A transferência de calor por convecção é o meio mais utilizado na secagem comercial, em que um fluxo de ar aquecido passa através da camada do produto; durante o processo de secagem a água migra do interior para a superfície do produto, de onde evapora para o ambiente. A eficiência do processo de secagem está relacionada com a qualidade do produto final (ATHIÉ, 1998).

Dentre os métodos utilizados para extração de água dos produtos agrícolas, a secagem solar se destaca pela vantagem proporcionada pelo baixo custo de utilização, uma vez que a fonte energética do processo é gratuita. Uma desvantagem dos secadores solares é a ausência de luz solar à noite; em estudos para superar esta desvantagem, deve-se considerar a acumulação da energia provida pelo sol durante o dia a fim de se utilizá-la para prosseguir a secagem no período noturno. A utilização do processo de secagem solar é ideal para a secagem de produtos cuja chance de inserção no mercado depende de um baixo custo de processamento, como é o caso das amêndoas de jaca; assim, um produto tratado como resíduo, embora de grande valor nutritivo, seria beneficiado pela eliminação do custo da energia necessária para sua secagem, permitindo uma comercializado a preço competitivo.

1.1 - Objetivo geral

Secar amêndoas de jaca em secadores solares e em estufa.

1.1.1 - Objetivos específicos

- Construir um secador solar de exposição direta, em camada fina, para uso diurno;
- Construir um secador acumulador de energia solar para secagem no período noturno (ACSN);
- Utilizar os dois secadores para secagem de amêndoas de jaca;

- Secar amêndoas de jaca em estufa em temperaturas entre 40 e 70 °C;
- Comparar as secagens das amêndoas de jaca utilizando-se energia solar e em estufa;
- Determinar as curvas de secagem utilizando-se os modelos de Page, Henderson & Pabis, Henderson, logarítmico e difusional.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Jaqueira

De acordo com SILVA (2002) a jaqueira é uma planta de clima quente e úmido embora se desenvolva em clima subtropical e semi-árido, com suprimento artificial de água. Árvores adultas sobrevivem em temperaturas negativas próximas a zero grau, apesar de ocorrerem danos nos maiores ramos, enquanto plantas novas sofrem severamente em temperaturas abaixo de zero, em geral não sobrevivendo; temperatura média anual de 25 °C, pluviosidade acima de 1.200 mm ano⁻¹, com boa distribuição e umidade relativa do ar em torno de 80%, são condições bastante favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura. O fruto se destaca como o maior do mundo, alcançando até 50 kg com até 70 cm de comprimento e 40 cm de diâmetro. É um fruto composto, tecnicamente denominado sincarpo, globoso, oval ou alongado, formado por uma reunião de frutos simples soldados em torno de um eixo central; a casca tem cor amarelo-esverdeada de início, passando para amarelo-acastanhado quando o fruto está maduro e este tem aroma peculiar e forte, agradável para muitos e repugnante para outros; internamente, ao longo do eixo central ou engaço, popularmente denominado bagunço ou naibo, aderem-se gomos constituídos de uma porção comestível chamada polpa, doce e aromática, mais ou menos consistente e que envolve cada semente. As sementes são, comumente, numerosas, variando de 100 a 500 em um único fruto; tem-se na Tabela 2.1, a classificação botânica da jaqueira.

Tabela 2.1 - Classificação botânica da jaqueira

Divisão	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordem	Urticales
Família	Moraceae
Subfamília	Moroideae
Nome científico	<i>Artocarpus heterophyllus</i>
Nome vulgar	Jaca, jaqueira

Fonte: Rede Brasileira Agroflorestral (citado por SILVEIRA, 2000)

A jaqueira pode ser utilizada em reflorestamento, tanto com o objetivo de recuperar áreas de solo degradado como para a produção de madeira. A madeira da jaqueira é branco-amarelado, que escurece com o contato com o ar, chegando a tomar a aparência do mogno; é utilizada na construção naval e na marcenaria e carpintaria e tem grande aplicação nas construções civis, em pontes, bueiros, rodas hidráulicas, prensas, etc. (SILVA, 2002).

A jaca é um fruto rico em carboidratos, vitaminas e sais minerais, tais como cálcio e ferro e muito útil no tratamento da anemia (GIRALDO-ZUÑIGA et al., 2004a); níveis elevados de proteínas e tiamina foram encontrados na jaca, por Burkill, citado por ODOEMELAM (2005). A composição da sua polpa é, para 100 gramas é de 84% de água, 18,9 g de carboidratos, 1,9 g de proteína, 0,1g de gordura, 1,1 g de fibra, 20 mg de cálcio, 30 mg de fósforo, 540 U.I. de vitamina A e 30 U.I. de tiamina (GIRALDO-ZUÑIGA et al., 2004b). A semente de jaca tem composição química diferenciada (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Composição química das sementes de jaca

Constituinte	GIRALDO-ZUÑIGA et al. (2004b)	Tojal & seara citado por SILVEIRA (2000)	FRANCO (1997)
Umidade (%)	-	70,35	-
Proteínas (%)	6,6	1,6	3,5
Lipídios (%)	-	0,25	0,30
Carboidratos (%)	25,8	26,45	-
Fibras (%)	-	0,68	-
Cinzas (%)	-	1,5	-
Cálcio (mg.100g ⁻¹)	-	-	50
Fósforo (mg.100g ⁻¹)	-	-	80
Ferro (mg.100g ⁻¹)	-	-	8,0

2.2 – Teor de água

A partir da maturidade fisiológica as sementes ficam armazenadas na planta, perdendo água para o meio, normalmente em condições climáticas adversas que favorecem a redução de sua qualidade físico-fisiológica na medida em que a colheita é retardada (MOZAMBANI et al., 1993; AHRENS & PESKE, 1993; AHRENS & PESKE, 1994).

Em sua maioria, os produtos agrícolas (grãos, sementes e frutos) deveriam ser colhidos no ponto de maturação fisiológica, quando apresentam teores elevados de amido, proteínas e água; entretanto, produtos com alta quantidade de água apresentam atividade metabólica mais intensa, além de propiciar ambiente adequado ao desenvolvimento de fungos e insetos, conduzindo a deterioração rápida. Através da remoção da água pela secagem e uma armazenagem correta, torna-se possível a conservação de produtos agrícolas (CARNEIRO, 2003; MARTINS et al., 1999).

Teores de água abaixo do adequado também são prejudiciais, haja vista que, neste caso uma menor quantidade de água deixa de ser comercializada, diminuindo não apenas rendimento do produto mas também o lucro do produtor além de, por ocasião do beneficiamento, aumentar sensivelmente o número de grãos quebrados, por perda de viscoelasticidade, aumentando o número de defeitos (OCTAVIANE, 2005).

Os frutos são alimentos que apresentam elevados teores de água, razão por que são passíveis de sofrer inúmeras alterações uma vez que a água (solvente universal de todos os sistemas biológicos) é o principal veículo de alterações de natureza química e bioquímica nos alimentos. A determinação de umidade é uma das medidas mais importantes e utilizadas na análise de alimentos. A umidade de um alimento está relacionada com sua estabilidade, qualidade e composição e pode afetar o armazenamento, a embalagem e o processamento (BRASIL & GUIMARÃES, 1998; OLIVEIRA et al., 1999).

De acordo com CORNEJO (1997) existem três formas de umidade nos grãos que interessam na secagem, as quais estão representadas na Figura 2.1:

- Umidade superficial, aderida superficialmente;
- Umidade intersticial, sem função biológica, ocorrendo livremente entre as moléculas dos grãos, mantida por forças capilares e pelo diferencial da pressão osmótica;
- Umidade de constituição, existente nas moléculas dos grãos, e quimicamente ligadas, possui função biológica.

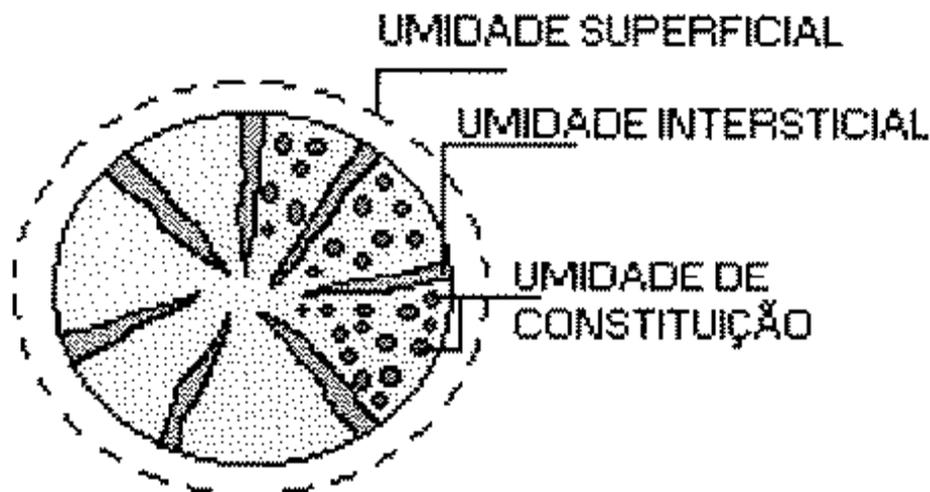


Figura 2.1 – Tipos de umidade (CORNEJO, 1997)

2.2.1 – Métodos de determinação do teor de água

A produção de grãos com elevada qualidade requer, entre outras recomendações: teor de água apropriadamente baixo e uniforme; baixa porcentagem de grãos trincados, quebrados, danificados e de materiais estranhos; baixa susceptibilidade a quebra; alto peso específico; alta viabilidade das sementes; baixas infecções de fungos e bactérias (CORNEJO, 1997; RIBEIRO et al., 2005).

Segundo STENCL et al. (1999), a importância da determinação do teor de água se baseia no fato de que durante o processamento e armazenamento, os produtos agrícolas podem sofrer mudanças físicas, químicas e microbiológicas, embora essas mudanças sejam particularmente influenciadas pelo teor de água, atividade de água e temperatura de armazenamento. O teor de água dos grãos pode ser determinado por métodos que se subdividem em dois: métodos diretos e métodos indiretos, em que nos primeiros, conforme (PUZZI, 1986), a quantidade de água é pesada ou medida e relacionada à matéria seca ou ao total da matéria original, isto é, a quantidade de umidade contida pode ser expressa em base seca ou base úmida. A determinação do teor de água se relaciona com a perda de peso de sementes quando secas em estufa; a água contida nas sementes é expelida em forma de vapor pela aplicação do calor sob condições controladas; trata-se de um método oficialmente adotado como padrão, considerando-se que para cada tipo de grão existe um procedimento específico para a determinação do teor de água. Recomendam-se as normas laboratoriais descritas no manual “Regras para Análise de Sementes”, editado pelo

Departamento Nacional de Produção Vegetal do Ministério da Agricultura do Brasil (BRASIL, 1992).

Os métodos indiretos, embora sejam mais rápidos que o oficial, tem a desvantagem do custo desses aparelhos serem considerados altos, até por grandes empresas. Na determinação pelo método infravermelho, o teor de água dos grãos, o qual é baseado na secagem de uma amostra de grãos de peso conhecido, é calculado por meio da perda de peso ocorrida na operação. A amostra é exposta a radiação infravermelha por determinado tempo, que depende da espécie do grão (CAVALCANTI MATA & GURJÃO, 1997).

O uso do forno de microondas tem sido sugerido em substituição ao método da estufa, por ser mais rápido e de custo inferior, e em virtude tempo de evaporação ser de até 2 a 3 minutos (SOUSA, 2001); para isto, CAVALCANTI MATA & GURJÃO (1997) pesquisaram níveis de potência e tempo de exposição em forno de microondas para a determinação do teor de umidade em feijão e soja, obtendo resultados idênticos aos comparados com o da estufa.

2.2.2 - Teor de água de equilíbrio

O teor de água de equilíbrio de um material em determinada temperatura e pressão, é definido como o teor de água correspondente ao equilíbrio entre as pressões de vapor de água no sólido e na vizinhança. O sólido não pode perder uma quantidade de água maior que aquela que tem em equilíbrio com o ar de secagem, ou seja, não pode ter um teor de água menor que o referente ao teor de água de equilíbrio. Constata-se, portanto, que o teor de água de equilíbrio é que determinará o teor de água mínimo que o material pode atingir em um conjunto de condições operacionais (PRADO, 2004; BENEDETTI, 1987).

Quando ocorre mudança na umidade relativa de um ambiente, a pressão de vapor d'água no ar também sofre alterações, aumentando esta com o aumento da umidade relativa; desta forma, para cada umidade relativa corresponde um teor de água de equilíbrio para um produto considerado em determinada temperatura. A temperatura exerce efeitos significativos sobre o valor do teor de água de equilíbrio (BENEDETTI, 1987).

Segundo CARVALHO & NAKAGAWA (1979) existem dois caminhos para um produto chegar ao teor de água de equilíbrio: um, quando ele absorve água do meio ambiente e outro quando perde água para o meio ambiente. O teor de água de equilíbrio do produto que absorve água, é menor que o do produto que a perde; este fenômeno é chamado histerese.

O teor de água de equilíbrio depende do ambiente e é dado geralmente, em função da umidade relativa, tendo a temperatura como parâmetro; esta função é chamada isoterma, definida como a representação analítica da variação do teor de água de um produto, em função de sua umidade relativa (MEDEIROS et al., 2002).

2.3 - Secagem

A secagem é uma das mais antigas e usuais operações unitárias encontradas nos mais diversos processos usados em indústrias agrícolas, cerâmicas, químicas, alimentícias, farmacêuticas, de papel e celulose, mineral e de polímeros; é também, uma das operações mais complexas e menos entendidas, em razão da dificuldade e deficiência da descrição matemática dos fenômenos envolvidos de transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento no sólido; assim, a secagem é um conjunto de ciência, tecnologia e arte, ou seja, um know-how baseado em extensiva observação experimental e experiência operacional (Menon & Mujumdar citado por PARK et al., 2004).

De acordo com CARMO (2004), as operações de secagem ou de desidratação são importantes passos na indústria química, no processamento e na estocagem de alimentos. A finalidade da secagem é a remoção parcial de um líquido (geralmente a água) da matéria sólida. A particularidade da secagem em relação a outras técnicas de separação é que a retirada das moléculas é obtida por uma movimentação da água, graças a uma diferença de pressão parcial do vapor d'água entre a superfície do produto a ser seco e o ar que o envolve; no caso dos alimentos, a remoção de água do material úmido é realizada até que danos provocados pela atividade biológica, associada à presença de água, possam ser minimizados, atingindo níveis toleráveis que permitam a estocagem do produto por longos períodos.

A secagem é a eliminação da água do material através da evaporação; dois são os métodos de secagem: a natural, feita pelo sol ou vento (método mais antigo) e a artificial, a qual necessita de fornecimento de energia, diferente da solar. Durante a secagem é necessário o fornecimento de calor para evaporar a umidade do material e também deve haver um sorvedor de umidade para remover o vapor d'água, formado na superfície do material a ser seco (VILLELA & SILVA, 1992).

O objetivo básico de secar produtos alimentícios é a remoção da água dos sólidos para um nível em que o crescimento dos microrganismos seja minimizado, prolongando a sua vida de prateleira, diminuindo o peso do produto para o transporte e o espaço

necessário para o armazenamento (LIMA et al., 2000). A grande variedade de alimentos desidratados (misturas, sopas, frutas e verduras, dentre outros) e a crescente preocupação em reunir as especificações de qualidade e de energia, enfatizam a necessidade de um completo entendimento da operação de secagem (AGUIRRE et al., 2002).

A secagem é o processo comercial mais utilizado para conservar alimentos (LADEIRA & PASSOS, 2002). Uma vez que, quando comparado com outros métodos de preservação para períodos longos, como a centrifugação, o enlatamento, os tratamentos químicos, a irradiação, dentre outros, é de custo mais baixo e de operação mais simples, podendo realizar-se por meio natural, expondo-se o produto ao sol, e artificial, por meio de secadores mecânicos (FARIAS, 2002). A secagem visa preparar o produto para a armazenagem; entretanto, se malconduzida, poderá prejudicar a qualidade comercial do produto antes mesmo da armazenagem ou, por outro lado, acelerar o processo de deterioração durante a armazenagem (NASCIMENTO, 2002).

De acordo com SOARES et al. (2001), a manutenção da qualidade pós-colheita de frutas passa por diversas técnicas, sendo a desidratação um método de conservação que reduz deteriorações e perdas do valor de comercialização; resulta ainda em transformação do produto, agregando valor e originando uma nova opção para o comércio (VERNON-CARTER et al., 2001; SANKAT & CASTAIGNE, 2004).

As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais se tem a facilidade na conservação do produto, a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura na conservação por longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do seu peso; economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001).

A temperatura do ar de secagem é o parâmetro de maior flexibilidade em um sistema de secagem, influenciando significativamente a taxa e a eficiência de secagem, bem como a qualidade final do produto e, se não for controlada, provocará danos físicos, como descoloração dos grãos, quebras e trincas (GUIDA & VILELA, 1996; OCTAVIANI, 2000).

A secagem ocorre por diferença de pressão de vapor entre o ar e o produto. A pressão de vapor do ar deve ser menor que a pressão de vapor no produto, condição esta que pode ser obtida pelo aquecimento do ar. Pelo gráfico psicrométrico, ao ser aquecido o ar tem sua pressão de vapor reduzida e, ao mesmo tempo, a elevação da temperatura aumenta a quantidade de calor sensível e, conseqüentemente, sua capacidade de

vaporização de água. A eficiência do processo de secagem está relacionada com a qualidade do produto final. No caso de grãos é desejável que, ao final do processo, o teor de umidade seja uniforme e apropriado às condições de armazenamento; apresentem baixa porcentagem de grãos quebrados e danificados; baixa suscetibilidade à quebra; redução da incidência de fungos e conservação das características nutricionais (ATHIÉ, 1998).

A secagem é uma operação potencialmente danosa à qualidade das sementes e depende do manejo correto dos teores de água inicial e final das sementes, da temperatura, da umidade relativa, fluxo de ar, taxa de secagem e do período de exposição ao ar aquecido (MIRANDA et al., 1999).

De acordo com BROOKER et al. (1981), a secagem de sementes é um processo que ocorre simultaneamente em duas fases: 1) no transporte do vapor de água da superfície da semente para o ar na forma gasosa, devido ao gradiente de pressão de vapor de água e 2) no movimento da água na forma líquida, do interior para a superfície das sementes até que seja atingido o equilíbrio higroscópico, ou seja, situação na qual a perda de água pela semente é igual ao ganho (POPINIGIS, 1985; CASTELLANE et al., 1990). Segundo referidos autores, a secagem depende, basicamente, da umidade da semente, umidade relativa do ar, temperatura do ar, tempo de exposição ao fluxo de ar e das características das sementes, sendo a umidade relativa e o fluxo de ar os principais fatores determinantes da velocidade de secagem.

Conforme SIMAL et al. (1994), durante o processo de secagem ocorrem reações de degradação do produto; daí, o desenvolvimento de projetos de secadores eficientes requer um completo entendimento dos mecanismos de transferência simultânea de calor e massa envolvidos no processo; infelizmente, no entanto, não há uma concordância definitiva nos mecanismos de movimento da umidade interna de materiais biológicos nem, comumente, modelos teóricos aceitáveis de transferência de calor e massa simultâneos que descrevam este fenômeno. O transporte de água do sólido é um processo complexo que apresenta vários mecanismos diferentes que, por sua vez, podem ocorrer simultaneamente ou variar durante o processo de secagem.

De acordo com AKPINAR et al. (2003), define-se a secagem como um processo de remoção de umidade devido à simultânea transferência de calor e massa; esta evolução ao longo da operação de secagem, faz com que o processo seja dividido esquematicamente em três períodos distintos (Figura 2.2) (PARK et al., 2001):

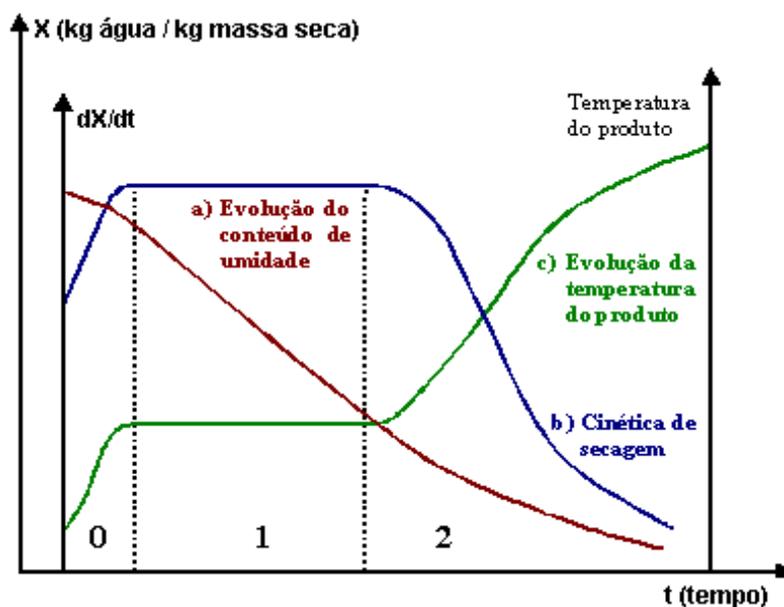


Figura 2.2 – Evolução da umidade, temperatura e velocidade de secagem ao longo do tempo (Fonte: PARK et al., 2001)

✓ **Período 0 (Período de indução):** A temperatura do sistema entre o ar e o produto é baixa e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é fraca; conseqüentemente, a transferência de massa e a taxa de secagem também são pequenas. Com a elevação da temperatura do produto ocorre um aumento de pressão e da taxa de secagem, fenômeno contínuo até que a transferência de calor compense exatamente a transferência de massa.

✓ **Período 1 (Período a taxa constante de secagem):** A quantidade de água disponível dentro do produto é bem grande e, ao longo deste período, a água evaporada da superfície é considerada água livre e as transferências de calor e massa são equivalentes; portanto, a velocidade de secagem é constante. Enquanto houver quantidade de água na superfície do produto para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante; este período continua enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto seja suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água na superfície; contudo, para os materiais biológicos é difícil a existência deste período, haja vista que as condições operacionais de secagem são tais que as resistências de transferência de massa se encontram essencialmente no interior do produto, o que faz a taxa de evaporação da superfície ao ambiente ser bem superior à taxa de reposição de umidade do interior à superfície do material.

✓ **Período 2 (Período a taxa decrescente):** A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa, só que esta não compensa mais a transferência de calor. O fator limitante durante esta fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto; além disso, a temperatura do produto aumenta até atingir a temperatura do ar de secagem; durante este período, e especialmente para produtos biológicos, a secagem se dá apenas no período à taxa decrescente.

ÖZDEMIR & DEVRES (1999) observaram, ao descreverem a secagem de avelã, que o processo ocorre a taxa decrescente; KROKIDA et al. (2003) e NSONZI & RAMASWAMY (1998) também constataram predominância do Período 2.

No decorrer do período de secagem a taxa decrescente, que é a única observada para produtos biológicos, a migração interna de água é que fixa a cinética de secagem e se tem, neste período, a teoria difusional e a teoria capilar como as teorias utilizadas para a explicação da migração da umidade (BROD, 2003).

2.3.1 - Teorias de secagem

Diversas e detalhadas discussões sobre as teorias de secagem podem ser encontradas em FORTES & OKOS (1980), LIMA (1995), MARIZ (1986) e NEVES (1982) para explicar a secagem de grãos, mas a teoria de pressão de vapor pode ser utilizada para explicar a secagem de produtos agrícolas. De acordo com esta teoria, a pressão de vapor dentro do produto aumenta com o aumento da temperatura; o movimento de umidade ocorre dos pontos de alta para baixa pressão de vapor e é proporcional à diferença entre a pressão de vapor do produto e a pressão de vapor da atmosfera.

Dois processos básicos ocorrem simultaneamente durante o processo de secagem de grãos: a transferência de calor, que é a energia necessária para vaporizar os fluidos do produto a ser seco, e a transferência de massa nas formas de umidade interna e de vapor. A massa considerada é o vapor que é retirado na superfície do produto (CAVALCANTI MATA, 1997a).

2.3.1.1 - Teoria da difusão líquida

Diversos pesquisadores consideram a difusão de água líquida como principal

mecanismo de transporte de água em produtos agrícolas (BROOKER et al., 1992; PARK et al., 1997; TOLABA et al., 1997; LIMA, 1999; OLIVEIRA, 2001; FARIAS, 2002).

A teoria da difusão líquida ou teoria difusional tem, como modelo matemático, a equação de Fick, considerando-se que o fluxo de umidade no interior do sólido é gerado por um gradiente de concentração. Esta teoria tem sido proposta como o principal mecanismo para o fluxo de água no interior dos sólidos, ainda aplicada para diversos materiais, tendo em vista que o coeficiente de difusão é constante ou dependente da temperatura e do teor de água (AFONSO JÚNIOR & CORRÊA, 1999; GOUVEIA et al., 1999).

Em outros termos e ainda de acordo com a lei de Fick, o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água; utilizando-se a lei de Fick na equação de balanço de massa de água no interior do produto, tem-se a Equação 2.1:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D_{ef} \nabla X) \quad (2.1)$$

em que:

D_{ef} - difusividade efetiva

X – teor de água

t - tempo

CRANK (1975) calculou um grande número de soluções da equação de difusão para condições iniciais e de contorno variadas, porém essas soluções se aplicam aos sólidos de formas geométricas simples (corpos semi-infinitos, placas planas, cilindros e esferas) e quando a difusividade é constante ou varia linear ou exponencialmente com a concentração de água. Segundo este autor, o coeficiente de difusão (D_{ef}) é uma difusividade efetiva, que engloba os efeitos de todos os fenômenos, podendo intervir sobre a migração da água e seu valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais. A solução da equação de difusão utilizada é uma das mais simples e parece ser a principal razão de seu emprego. Entende-se como difusividade a facilidade com que a água é removida do material e como a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar) e não é intrínseca ao material, convencionou-se chamar difusividade efetiva.

A predição do movimento de água através da difusão líquida não pode ser invalidada por existirem teorias que utilizam a lei de Fick para determinar o movimento de vapor e líquido nos sólidos. As críticas a esta teoria se concentram mais à sua aplicabilidade em todos os estágios da secagem, caso em que o significado físico do coeficiente de difusão se perde ou é interpretado como a soma de vários efeitos simultâneos (CARMO, 2004).

De acordo com QUEIROZ (1994) para a secagem de grãos, frutas e cereais, o modelo de difusão líquida apresentou bons resultados devido a peculiaridade desses produtos não apresentar um período de taxa constante nas curvas características de secagem permitindo, assim, que o processo seja controlado pelas condições internas do material.

Os modelos de secagem baseados na teoria de difusão de líquido têm sido preferidos por muitos pesquisadores na área de secagem de alimentos e grãos (IGBEKA, 1982; MULET et al., 1989; SERENO & MEDEIROS, 1990; QUEIROZ & NEBRA, 1997). Embora existam algumas suposições a serem consideradas para aplicação desses tipos de modelos, como: a redução de volume é desprezível; não há efeito de capilaridade; os corpos entram em equilíbrio térmico com o ar instantaneamente e os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro são desprezíveis; entretanto, devido às limitações de ordem prática, quando utilizadas para produtos biológicos essas suposições são normalmente consideradas satisfeitas.

2.3.1.2 - Teoria capilar

Krischer & Kroll, citados por DAUDIN (1983) relataram, em detalhes, a teoria do movimento capilar de água líquida dentro de sistemas simples constituído de alguns tubos capilares e dentro de sistemas complexos, como os corpos porosos, cujo princípio é o seguinte: para um tubo capilar isolado, a pressão de sucção e então a ascensão da água dentro do capilar, são proporcionais à tensão superficial da água e inversamente proporcionais ao seu raio; admitindo-se que a tensão capilar está, finalmente, associada ao teor de água, os autores estabelecem uma lei geral na qual o fator de potencialidade é o gradiente de teor de água; eles ainda agregam, a este fluxo de água líquida, um fluxo de vapor de água que se teria dentro dos poros depois da retirada do líquido.

Não sendo o material biológico um material capilar, esta teoria não poderia ser aplicada para referidos materiais no senso estrito. Mas não se pode esquecer que esta teoria

fornece ferramentas para fundamentar as equações fenomenológicas de transferência simultânea de calor e de massa. Assumir o fluxo de transferência de massa como função somente do gradiente de concentração é simplificar muito, apesar deste gradiente ser o mais importante contribuinte na transferência de massa (BROD, 2003).

2.3.1.3 - Teoria da condensação-evaporação

O modelo teórico da condensação-evaporação foi desenvolvido por meio das pesquisas de Henry, em 1939, quando da tentativa de compreensão da umidade existente em fardos de algodão; seu modelo considera que o sólido é constituído de redes contínuas de poros e as equações que dominam o fluxo de água no material são obtidas com um balanço apropriado de calor e massa. O balanço de massa considera o movimento de vapor por meio do sólido e o balanço de energia é feito considerando-se o fluxo de calor por condução, adicionando-se o calor envolvido na adsorção ou absorção da água pelo sólido (FORTES & OKOS, 1980).

2.3.1.4 - Teoria de Luikov

LUIKOV & MIKHAYLOV (1965) e LUIKOV (1966) apresentaram os primeiros trabalhos concernentes à aplicação dos princípios da Termodinâmica de Processos Irreversíveis, assumindo que os fluxos de umidade devido à difusão de vapor e líquido são devidos, respectivamente, a um gradiente de temperatura e de concentração total de umidade no interior do sólido. As equações que descrevem este modelo sugerem que o transporte molecular de vapor d'água, ar e líquido, acontecem simultaneamente. Quando mais de uma força propulsora ocorre no sistema, efeitos simultâneos podem surgir. Utilizando-se os princípios da termodinâmica para descrever o processo, conclui-se que esta combinação de efeitos aparece nas equações como termos cruzados em relação aos fluxos de calor e massa.

2.3.1.5 - Teoria de Philip e De Vries

Esta teoria considera que em materiais porosos a água se move através da difusão de vapor e por capilaridade. O fluxo de vapor é considerado dependente da sua concentração e dos gradientes de temperatura no sólido e o fluxo de água na fase líquida é

devido a efeitos de capilaridade e pode se dar em condições isotérmicas ou não; a teoria de Philip e De Vries também considera o fluxo de água devido a potenciais gravitacionais. Em geral, pode-se dizer que a difusividade líquida é um fator importante para condições em que estão presentes altos teores de água, enquanto a difusividade de vapor é significativa para condições de baixo valor da quantidade de água (Philip e De Vries, citado por FORTES & OKOS, 1980).

2.3.1.6 - Teoria de Krischer

Krischer, citado por FORTE & OKOS (1980), assumiu que durante a secagem o fluxo de água pode se dar no estado líquido, por capilaridade, ou no estado de vapor em virtude de um gradiente de concentração de vapor. Esta teoria leva em conta a transferência de calor e massa simultaneamente e pode ser aplicada a uma variedade de meios porosos.

De maneira geral, os modelos que consideram as transferências simultâneas de calor e de massa, são complexos, e sua resolução exige meios de cálculos complexos, sobretudo quando se considera a variação dos coeficientes de difusão de massa com a temperatura e o teor de água; além disso, leva-se em conta a deformação do produto e sua heterogeneidade, o que aumentaria ainda mais a dificuldade (BROD, 2003).

2.3.2 - Cinética de secagem

A obtenção da cinética de secagem é de fundamental importância para a modelagem matemática da operação e projetos de secadores convectivos. É através deste estudo que se estabelecem as equações do teor de água em função do tempo de secagem para os diferentes períodos de secagem (FERREIRA, 2004; PRADO, 2004).

Particularmente para grãos, a importância prática da secagem de uma partícula isolada ou de uma camada fina do produto, é muito limitada porque, geralmente, os materiais são secos em camadas espessas: estacionárias ou em movimento; contudo no caso das frutas elas são secas em camadas finas (LIMA, 1999).

O estudo da secagem em camada fina e leito fixo cresce de importância quando se trata de materiais para os quais a informação do comportamento cinético é escassa, possibilitando uma verificação sobre a influência das variáveis do processo em relação à transferência de massa, uma vez que há amplo controle das condições operacionais sendo

possível se diferenciar os efeitos da temperatura, umidade e velocidade do ar (PRADO, 1999).

2.3.2.1 - Equações matemáticas para secagem em camada fina

Considerando-se que, de maneira geral, a secagem dos produtos biológicos, se dá no período a taxa decrescente e como principal mecanismo de migração de umidade a difusão tem-se, para a descrição deste período, inúmeras equações matemáticas propostas de camada fina, sendo essas classificadas em três categorias: modelos teóricos, semi-empíricos e empíricos (AZZOUZ et al., 2002).

Referidas equações negligenciam os efeitos de variação de temperatura no processo de secagem, assumindo que o grão alcança a temperatura média do ar imediatamente, no começo do processo de secagem (FARIAS, 2003) e possuem, sempre, um coeficiente a ser determinado, sendo dependente dos parâmetros da secagem como temperatura, umidade relativa, vazão do fluido e teor de água do grão (PRADO, 2004).

Segundo FARIAS (2003) as equações empíricas possuem uma relação direta entre o conteúdo de água e o tempo de secagem, enquanto as semi-empíricas são análogas à lei de Newton do resfriamento, assumindo que a taxa de secagem é proporcional à diferença entre o conteúdo de água do produto e seu respectivo conteúdo de água de equilíbrio para as condições de secagem especificadas. É comum as equações teóricas utilizarem difusão de líquido ou vapor dentro do produto e aplicarem a equação de difusão.

No modelo semi-empírico análogo à lei de Newton do resfriamento sugerido por LEWIS (1921) (Equação 2.2), diz-se que a taxa de secagem é função dos teores de água do produto em qualquer tempo de secagem e do seu teor de água de equilíbrio nas condições de secagem. CHEN & WU (2001) utilizaram este modelo na secagem em camada delgada de arroz em casca com alto teor de água.

$$RX = \exp(-kt) \quad (2.2)$$

em que:

RX - razão de água (adimensional)

k - constante da velocidade de secagem (h^{-1})

t - tempo (min)

Apesar desta equação (Eq. 2.2) ter sido utilizada por muitos pesquisadores, devido aos resultados pouco satisfatórios em diversos casos, necessitou-se de modificações. Com o acréscimo do expoente “n” (Eq. 2.3) na variável tempo, concebeu a equação empírica uma precisão melhor para a predição da secagem de produtos em camada fina, visto que este parâmetro possui efeito de moderação do tempo e corrige os possíveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de umidade (AZZOUZ et al., 1998; YOSHIDA, 1997; PARTI & DUGMANICS, 1990). A equação de Page como é conhecida, nasceu desta modificação sobre a lei exponencial (PAGE, 1949), e é representada pela Equação 2.3, abaixo:

$$RX = \exp(-kt^n) \quad (2.3)$$

em que:

RX - razão de água (adimensional)

k - constante da velocidade de secagem (h^{-1})

n - constantes do modelo

t - tempo (min)

A constante de secagem k foi investigada por diversos pesquisadores podendo ser descrita como uma equação do tipo Arrhenius e como função da temperatura do ar de secagem (RATTANAPANT, 1988; HENDERSON & PABIS, 1961; OLIVEIRA JÚNIOR, 2003).

Muitos pesquisadores utilizaram a equação de Page para estimar as curvas de secagem em camada fina de diversos produtos (MARGARIS & GHIAUS, 2007; ABE & AFZAL, 1997; GOYAL et al., 2006). GUEDES & FARIAS (2000) também a utilizaram para expressar a predição da cinética de secagem de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.), com base em dados experimentais obtidos em um secador convectivo de leito fixo, concluindo que este modelo foi o que melhor representou os dados experimentais. DOIMAZ (2004a) também obteve a melhor predição em relação aos dados experimentais utilizando a equação de Page para a secagem de cubos de cenoura em um secador de gabinete, nas temperaturas de 50, 60, 65 e 70 °C.

KARATHANOS & BELESSIOTIS (1999) secaram, em secador de bandeja com circulação de ar, uvas com umidades iniciais padronizadas em 15% (base seca), concluindo

que para produtos com umidades inferiores a 15% (base seca) e com alta concentração de açúcares, a equação de Page não tem predição satisfatória da cinética de secagem.

O modelo de HENDERSON & PABIS (1961), (Equação 2.4), foi utilizado por PANCHARIYA et al. (2002) na estimativa das curvas de desidratação do chá preto em camada fina, nas temperaturas de 80, 90, 100, 110 e 120 °C. GUNHAN et al. (2005) dentre outros modelos, lançaram mão do modelo de Henderson & Pabis para predição das curvas de secagem de orégano nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Outros pesquisadores também aplicaram esta equação para diversos alimentos (MWITHIGA & OLWAL, 2005; MENGES & ERTEKIN, 2006; MOHAPATRA & RAO, 2005).

$$RX = a \exp(-kt) \quad (2.4)$$

em que:

RX - razão de água (adimensional)

a e k - constante de secagem do modelo (adimensional)

t - tempo (min)

Outro modelo semi-empírico bastante usado na secagem de produtos agrícolas é a equação logarítmica (Equação 2.5);

$$RX = A \exp(-kt) + C \quad (2.5)$$

em que:

RX - razão de água (adimensional)

A, K, C - constantes do modelo

t - tempo (min)

MARTINAZZO et al. (2007) dentre outros modelos avaliados para estimar as curvas de secagem de folhas de capim-limão (*Cymbopogon citratus*) nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C encontraram utilizando a equação logarítmica coeficientes de determinação superiores a 0,995. CORRÊA et al. (2007) encontram coeficientes de determinação inferiores a 0,99 ao ajustarem o modelo logarítmico as curvas de secagem de feijão (*Phaseolus vulgaris* L) nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C.

O modelo de Henderson (Equação 2.6)(HENDERSON, 1974) foi utilizado por SACILIK et al. (2006) para estimar as curvas de secagem de sementes de ameixa nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, sendo considerado o melhor dentre os modelos testados.

$$RX = Ae^{-Bt} + Ce^{-Dt} \quad (2.6)$$

em que:

RX - razão de água (adimensional)

A, B, C e D - constantes dos modelos

t - tempo (min)

2.3.3 - Secagem natural

Desde os tempos mais remotos, o homem sente necessidade de secar grãos alimentícios para melhor conservação durante o seu armazenamento. Do mesmo modo, ao longo do tempo sementes vêm sendo secas na planta ou colhidas e submetidas a secagem natural mas, em geral, não é recomendável deixá-las armazenadas na planta após a maturidade fisiológica, aguardando a secagem, pois podem ocorrer reduções na qualidade física, fisiológica e sanitária, em função de condições ambientais, muitas vezes adversas (FARONI et al., 1982; MOZAMBANI et al., 1993; AHRENS & PESKE, 1993; WEBER, 1995).

A secagem a sol aberto é bastante utilizada por fazendeiros rurais em países em desenvolvimento para secar produtos agrícolas. Neste método, os grãos são espalhados em camada fina sobre o chão e a incidência da energia solar diretamente nos grãos proporciona a vaporização da água eliminada pela mudança do ar ambiente (KOYUNCO, 2006).

Segundo REINATO et al. (2002), a secagem em terreiro de produtos agrícolas apresenta a desvantagem de colocar em risco a qualidade do produto final, caso as condições de clima não sejam favoráveis (ocorrência de chuvas, elevada umidade relativa do ar), facilitando o desenvolvimento de microrganismos que podem ser responsáveis pela ocorrência de fermentações indesejáveis (CORREA, 1982; SOUZA, 2000; VIEIRE & VILELA, 1995).

Os processos de secagem de produtos agrícolas com uso de energia solar podem ser divididos em dois tipos básicos:

- Secagem solar direta (com o produto exposto diretamente ao ambiente) e

- Secagem solar indireta (utilizando-se ar aquecido através de coletores solares).

O coletor solar para aquecimento de ar é um trocador de calor que converte energia solar radiante em calor. Coletores solares planos são adequados para operações nas quais se utilizam temperaturas moderadas (até 100 °C); de construção simples, são constituídos de uma placa absorvedora de radiação solar, paredes laterais e uma cobertura, de preferência transparente e em radiação solar incidente de ondas curtas e opaca à radiação solar de ondas longas emitida pela placa coletora gerando, desta forma, um “efeito estufa”. Os coletores solares planos podem ser utilizados no fornecimento de ar quente para processos de secagem que ocorrem em silos e similares. Quando a secagem ocorre no interior do próprio coletor, este se denomina secador de exposição direta (BEZERRA, 2001; SANTOS, 2004).

Diversos estudos sobre secagem solar de produtos agrícolas têm sido realizados. CHAUHAN et al. (1996) estudaram a secagem de grãos em silos com o sistema, incluindo a utilização de pedras para armazenar energia; NIJMEH et al. (1998) estudaram a secagem de restos de comida para a fabricação de ração animal; YALDIZ et al. (2001) estudaram a secagem de uva utilizando uma placa coletora de energia solar metálica plana e cobertura de plástico e vidro; BASUNIA & ABE (2001) estudaram a secagem de arroz em um sistema semelhante; esses trabalhos abordaram o processo de secagem e a sua modelagem matemática, porém não realizaram um estudo da eficiência do coletor solar utilizado e do dimensionamento deste equipamento.

ARINZE et al. (1996), construíram um secador de grão móvel utilizando coletores de energia solar com área total de 18 m² e capacidade máxima de 90 toneladas; secaram, em 3 e 6 dias aproximadamente, 60 e 80 toneladas de grãos de canola e trigo, atingindo uma umidade final em base úmida de 13,5%. MARTINS et al. (2002), desenvolveram um secador de leito fixo que utiliza, como fonte de aquecimento do ar, um coletor solar armazenador de energia com capacidade estática para 50 sacos; ainda segundo esses autores, para a secagem de produtos agrícolas recomenda-se que a umidade inicial do material não ultrapasse 25% base úmida.

2.3.4 - Secagem artificial

A alternativa para a secagem natural no campo é a utilização de técnicas de secagem artificial, submetendo o grão úmido, em um secador, à ação de uma corrente de ar

forçado e aquecido. A secagem artificial pode ser executada em baixas ou em altas temperaturas (DALBELLO, 1995).

A secagem artificial dos grãos permite uma série de vantagens, descritas abaixo (BROOKER et al., 1992):

- Colheita prematura, que reduz as perdas de campo devido a perdas naturais;
- Planejamento da época da colheita para fazer melhor uso da mão-de-obra, porque a colheita depende do conteúdo de água do grão no campo;
- Armazenamento por tempo longo sem deterioração;
- Permite aos agricultores armazenar o produto em poucos meses depois da colheita, conseguindo melhores preços;
- Mantém a viabilidade das sementes pois, devido à remoção da água, evita-se a possibilidade de aquecimento do produto com subsequente redução ou destruição da germinação;
- Permite ao agricultor vender um produto de melhor qualidade.

Vários trabalhos já foram realizados utilizando-se secagem artificial: ALVES et al. (2001) secaram milho (*Zea mays* L.), em um secador experimental de camada delgada, com quatro teores de água iniciais (25; 22; 16,5 e 15% b.u.) nas temperaturas de 40, 60, 80 e 100 °C, obtendo os menores valores de índice de danos com o teor de água inicial de 15% e os maiores para os grãos colhidos com 16,5 e 22%, independentemente da temperatura do ar de secagem. BRAGA et al. (1994), secaram milho branco BR-451 em um secador experimental de camada fina nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, velocidade do ar de 36 m.min⁻¹ e teor de água inicial de 24% base úmida e encontraram, com o modelo de Thompson, uma boa predição dos dados experimentais.

NEVES et al. (2005) determinaram a velocidade de secagem em função do fluxo de ar e seu efeito na qualidade de sementes de milho (*Zea mays* L.); para tal utilizaram espigas de milho com umidade inicial de 30% em base seca; testes foram feitos em quatro protótipos de secador de fundo perfurado, com diâmetro de 0,92 m, altura de 1,0 m e ventilador axial, com cilindros de altura 2,0 m instalados internamente e verificou-se que utilizando-se o ar com umidade relativa entre 40 e 70%, não ocorreram fissuras nas sementes de milho.

SFREDO et al. (2005) secaram, em secador de camada fixa com bandejas vibratórias, café cereja com umidade inicial de 60% (base úmida) até atingir 11%.

AFONSO JÚNIOR & CORRÊA (2000) utilizaram um secador experimental provido de um ventilador axial, para secar feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) nas temperaturas de 35, 40, 45 e 50 °C e três níveis de umidades iniciais 17,1; 25,5 e 37,3% (base úmida).

FARONI et al. (2006) usaram um secador de camada delgada para secar feijão (*Phaseolus vulgaris* L) da variedade “Carioca 1030” com teor de água de 21 e 18% (base úmida) nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C e velocidade de ar de secagem de 0,7 m.s⁻¹ e concluíram que o aumento da temperatura do ar de secagem diminuiu a sua qualidade fisiológica, ao longo do armazenamento.

GONELI et al. (2007) secaram grãos de trigo, cultivar Aliança, com teor de água inicial de 32% (base seca), nas temperaturas de 25, 35, 45 e 55 °C em uma unidade condicionadora de atmosfera com fluxo de ar de 4 m³.s⁻¹.m⁻² e 55% de umidade relativa constante, atingindo menor tempo de secagem em 46 horas na temperatura de 55 °C e teor de água final de 9,63% (base seca). CARNEIRO et al. (2005) usaram um secador de madeira de base quadrada com sistema de secagem de coluna e camada fixa, para desidratar grãos de trigo comum (*Triticum aestivum* L.) e duro (*Triticum durum* L.) nas temperaturas de 40, 60 e 80 °C com fluxo de ar de 20 m³.s⁻¹.m⁻², encontrando o maior tempo de secagem em 10 horas na temperatura de 40 °C para o trigo comum e, para as mesmas condições, 8,5 horas para o trigo duro.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Local de realização

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

3.2 - Material de estudo

Sementes de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) compunham o material utilizado, cujos tratamentos envolveram temperaturas superiores a 50 °C o que inviabiliza a germinação; assim, as amostras foram designadas “amêndoas”.

As amêndoas foram extraídas manualmente de jacas da variedade mole, acondicionadas em sacos plásticos duplos e armazenadas em freezer a temperatura de -20 °C, de onde eram retiradas porções necessárias a medida em que transcorriam os ensaios experimentais.

3.3 - Preparo das amostras

As amêndoas eram retiradas do freezer, desembaladas e deixadas até atingirem temperatura ambiente; de cada lote para secagem com massa aproximada de 30,0 gramas, a umidade inicial era determinada no final da secagem colocando-se todo o material em estufa a 105 °C durante 24 h. A umidade inicial das amostras variou de 48 a 58% (bu).

A fim de se avaliar a secagem das amostras nas suas apresentações comerciais mais prováveis, as amêndoas foram estudadas em cinco configurações, que consistiram em:

- Amostras inteiras com a película branca externa que as envolve, denominadas “amêndoas inteiras com película” (ICP);
- Amostras inteiras das quais se retiraram as películas, denominadas “amêndoas inteiras sem película” (ISP);
- Amostras em metades, obtidas pela separação dos cotilédones, providas de película, denominadas “metades com película” (MCP);
- Amostras em metades das quais foram eliminadas as películas, denominadas “metades sem película” (MSP);

- Amostras moídas, produzidas por moagem de amêndoas com película em moinho de faca.

Todos os tratamentos mencionados foram submetidos a secagens em estufa. Nas secagens solares foram empregados os mesmos tratamentos, exceto em relação às amostras moídas, que não foram utilizadas.

3.4 - Secadores

3.4.1 - Secador solar para uso diurno

Para a secagem durante o dia construiu-se um secador elaborado em chapa zincada, revestido internamente com isopor pintado na cor preta, tendo por cobertura um vidro plano com espessura de 4,0 mm. O secador, com formato quadrado, media 710 mm de lado e profundidade de 90 mm.



Figura 3.1 – Secador solar para uso diurno

3.4.2 - Secador acumulador de energia solar para secagem no período noturno (ACSN)

Para a secagem durante a noite foi montado um equipamento destinado a aquecer água durante o dia por meio de coletores solares; esta água era armazenada em um reservatório termicamente isolado e, à noite, era utilizada como fonte de calor para a câmara de secagem, onde circulava abaixo das bandejas contendo as amostras, percorrendo um trocador de calor elaborado em tubo de cobre em serpentina.

3.4.2.1 - Coletores solares

Utilizaram-se três coletores solares do tipo placa plana com sistema de circulação de água, cada um composto de carcaça em alumínio, isolante térmico em lã de vidro, placa absorvedora de calor e cobertura transparente em vidro de 3,0 mm de espessura. A carcaça, em forma retangular, tem 1,72 m de comprimento por 1,02 m de largura e 0,12 m de profundidade, enquanto a face inferior, as laterais, a parte inferior e a superior são cobertas com o isolante térmico e sobre este isolante é fixada a placa absorvedora. O fechamento da carcaça na face superior é feito com a cobertura de vidro, utilizando-se como adesivo um selante flexível. Cada placa absorvedora tem dimensões retangulares de 1,7 x 1,0 m e é fabricada em tubos de cobre, os quais são fixados em trocador de calor feito em chapa de alumínio. Os eixos longitudinais dos coletores foram posicionados para o norte e inclinados na mesma direção em 7°, a fim de compensar a latitude local (aproximadamente 7° sul); esta inclinação favorece o aquecimento nos meses de maior utilização do equipamento, em torno do solstício de verão no hemisfério sul.



Figura 3.2 - Coletores solares

3.4.2.2 - Reservatório térmico

Usou-se um reservatório térmico para armazenamento da água aquecida nos coletores, constituído de caixa de isopor com capacidade de 150 L, revestido internamente com filme plástico, a fim de manter a impermeabilidade.



Figura 3.3 Reservatório térmico

3.4.2.3 Câmara de secagem

Esta câmara se compõe de chapa de zinco com secção quadrada, medindo 260 mm interno, e 1,5 m de comprimento; a parte superior da câmara tem forma de tronco de cone, com o objetivo de reduzir a abertura de exaustão do ar de secagem, evitando o resfriamento da parte interna da câmara pelo ar externo; o interior é revestido com isolante térmico formado de lâminas de isopor com 30 mm de espessura; o interior é provido de uma serpentina em espiral descendente construída em tubos de cobre com diâmetro nominal aproximado de 1,9 cm (3/4 de polegada), por onde a água aquecida circula e fornece o calor para secagem; as amostras eram colocadas em bandeja de aço inoxidável, composta de tela perfurada sobre perfil de alumínio; enfim, a circulação de ar na câmara se dava por convecção natural.



Figura 3.4 – Câmara de secagem

3.3.2.4 - Montagem e funcionamento do secador ACSN

A montagem foi realizada com os três componentes dos itens 3.3.2.1, 3.3.2.2. e 3.3.2.3 funcionando em alturas diferentes e formando dois circuitos independentes de circulação de água. Os três coletores foram conectados paralelamente, posicionados em posição ascendente entre o primeiro e o terceiro. Considera-se como o primeiro o coletor colocado em posição relativa mais baixa, cuja entrada inferior é conectada à saída de água fria do reservatório térmico, enquanto o terceiro coletor é considerado aquele posicionado na posição mais alta dentre os três, conectado à entrada de água quente do reservatório, formando o primeiro circuito, entre os coletores e o reservatório. Um procedimento similar foi aplicado para a câmara de secagem, em que as partes inferior de saída e superior de entrada do reservatório térmico foram conectadas à câmara, formando o segundo circuito. Durante o dia os coletores aqueciam a água do reservatório térmico utilizando a luz solar; por efeito do sifão térmico, a água aquecida dos coletores seguia por ascensão até o reservatório e a água fria nele presente no reservatório, circulava em direção aos coletores, percorrendo o primeiro circuito; ao final da tarde a circulação entre os coletores e o reservatório era interrompida por registros; para a secagem noturna eram abertos os registros do segundo circuito, permitindo a circulação da água entre o reservatório e a câmara de secagem, promovida pelo mesmo princípio de sifão térmico, situação em que a água percorria o circuito da serpentina de cobre, interna à câmara de secagem, aquecendo o ar do meio e promovendo a secagem das amostras. Todas as tubulações dos circuitos responsáveis pelo transporte de água aquecida expostas ao ambiente foram convenientemente isoladas em espuma de poliuretano.



Figura 3.5 – Sistema completo do secador ACSN

3.5 - Secagem em secador solar

A secagem solar foi realizada de quatro formas, a saber:

- Secagem por exposição direta ao sol durante o dia, combinada com secador ACSN;
- Secagem por exposição direta ao sol durante o dia e à noite as amostras eram abrigadas (testemunha);
- Secagem em secador solar durante o dia combinada com secador ACSN;
- Secagem em secador solar durante o dia e à noite as amostras eram abrigadas (testemunha).

3.5.1 - Secagem por exposição direta ao sol combinada com o secador ACSN

A secagem era iniciada entre 8:30 e 9:00 horas, com 12 bandejas nas quais as amostras eram expostas diretamente ao sol, acompanhando-se a perda de umidade por meio de pesagens a cada 2 horas. Esta primeira etapa era encerrada às 18:00 horas; a partir deste horário, metade das amostras eram colocadas no secador ACSN prosseguindo o acompanhamento da umidade das amostras por pesagens a cada 4 horas. A secagem no período noturno era encerrada às 6:00 horas, quando então as amostras voltavam para exposição direta ao sol. Durante o dia, a secagem prosseguia até as 18:00 horas, com as pesagens realizadas a cada 4 horas. Às 18:00 horas as amostras voltavam para o secador ACSN retornando-se então aos procedimentos de secagem no período noturno, tal como na noite anterior; cada lote de amostras era seco utilizando-se repetições em triplicata.

Durante o processo de secagem no secador ACSN eram registrados, a cada 4 horas com uso de termopares, o perfil de temperatura dentro da câmara de secagem, a temperatura externa e as temperaturas de entrada e saída de água do reservatório térmico (Apêndice B - Tabelas B.1 a B.8).

3.5.2 - Secagem por exposição direta ao sol durante o dia e à noite, em abrigo

A partir das 18:00 horas metade das amostras do item 3.5.1, secas por exposição direta ao sol no período diurno, eram postas ao abrigo, a fim de servir de testemunha em

relação à outra metade, que era colocada no secador ACSN, permanecendo até as 6:00 horas do dia seguinte; às 6:00 horas, essas amostras voltavam para exposição direta ao sol.

3.5.3 Secagem em secador solar de uso diurno combinado com o secador ACSN

A secagem era iniciada entre 8:30 e 9:00 horas, com as 12 bandejas contendo as amostras, de forma idêntica ao item 3.5.1. As bandejas eram colocadas dentro do secador diurno, exposto ao sol, procedendo-se as pesagens a cada 2 horas; às 18:00 horas, 6 bandejas (metade) iam para o secador noturno, seguindo as pesagens das 12 bandejas a cada 4 horas; às 6:00 horas, as amostras voltavam ao secador de uso diurno e a secagem prosseguia, com as pesagens sendo realizadas a partir de então, a cada 4 horas; às 18:00 horas as amostras voltavam ao secador ACSN e se repetia o procedimento da noite anterior.

3.5.4 - Secagem em secador solar durante o dia, e à noite, em abrigo

A partir das 18:00 horas, metade das amostras do item 3.5.3 era posta ao abrigo a fim de servir de testemunha em relação à outra metade que era levada ao secador ACSN, permanecendo até as 6:00 horas do dia seguinte; a partir deste horário essas amostras voltavam ao secador solar de uso diurno.

3.6 - Secagem em estufa

As secagens das amostras por meio de aquecimento artificial foram realizadas em camada fina, utilizando-se uma estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

Fez-se a secagem das amêndoas com o material colocado diretamente sobre as bandejas, e o processo era conduzido até que as amostras atingissem a umidade de equilíbrio.

3.7 - Análise dos dados

Utilizaram-se, para os ajustes dos dados de cinética de secagem das amêndoas de jaca, as equações de Page (Eq. 3.1), Henderson (Eq. 3.2), Henderson & Pabis (Eq. 3.3),

logarítmica (Eq. 3.4) e difusional utilizando-se o programa computacional Statistica, por meio de regressões não lineares.

Page

$$RX = e^{-Kt^n} \quad (3.1)$$

em que:

RX - razão de água (adimensional)

K, n - constantes do modelo

t - tempo (min)

Henderson

$$RX = Ae^{-Bt} + Ce^{-Dt} \quad (3.2)$$

em que:

RX - razão de água (adimensional)

A, B, C e D - constantes dos modelos

t - tempo (min)

Henderson & Pabis

$$RX = A \exp(-Kt) \quad (3.3)$$

em que:

RX - razão de água (adimensional)

A, K - constantes do modelo

t - tempo (min)

Logarítmico

$$RX = A \exp(-Kt) + C \quad (3.4)$$

em que:

RX - razão de água (adimensional)

A, K, C - constantes do modelo

t - tempo (min)

Difusional

$$RX = (6/(9\exp(9Kt)) + 1/(4\exp(4Kt)) + 1/(\exp(Kt))) / \pi^2 \quad (3.5)$$

em que:

RX - razão de água (adimensional)

K , - constantes do modelo

t - tempo (min)

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Cinética de secagem da amêndoa de jaca

4.1.1 – Secagem das amêndoas de jaca em estufa

No apêndice A, Tabelas A.1 a A.25, tem-se os dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca, nas seguintes condições: inteiras com película (ICP); inteiras sem película (ISP), metades com película (MCP), metades sem película (MSP) e moída, nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

4.1.1.1 – Secagem das amêndoas inteiras com película (ICP)

Apresentam-se, na Figura 4.1, os pontos experimentais da secagem de amêndoas de jaca ICP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, expressos pela razão de água em função do tempo. Verifica-se que a perda de água é mais acentuada no início do processo de secagem e o tempo de secagem final foi realizado durante 29,50 horas na temperatura de 80 °C, 33,50 horas a 70 °C, 37,50 horas a 60 °C, 45,50 horas a 50 °C e 79 horas a 40 °C, em que a diferença na temperatura de secagem de 40 °C reduziu o tempo de secagem em aproximadamente 62,6%. COSTA et al. (2005) obtiveram um tempo semelhante ao desidratar amêndoas de jaca da variedade dura em secador de leito fixo em camada fina, relatando um tempo de secagem de 76 horas na temperatura de 40 °C com velocidade do ar de secagem de 1,5 m s⁻¹. ATTANASIO et al. (2004) secaram castanha (*Castanea sativa*) em estufa com circulação de ar a 0,5 m.s⁻¹ e temperatura de 40 °C obtendo um tempo de secagem de 51 horas para atingir um teor de umidade de 20% em base seca, caso em que a maior diferença no tempo pode ser explicada pelo fato da castanha ter composição com predominância oleosa.

Na secagem do café (*Coffea arabica*) despulpado, em secador experimental de camada fixa, GUIDA (1994) utilizou um fluxo de ar constante de 63 m³ min⁻¹ m⁻², sem período de descanso, com revolvimento da camada a cada duas horas de secagem, temperaturas de 45 e 70 °C e alturas da camada de café de 10, 20, 30 e 40 cm, observando que o tempo de secagem diminuiu consideravelmente com o aumento da temperatura, independente da altura da camada de café.

De acordo com CASTRO (1991), ao secar café despulpado (*Coffea arabica*) utilizando as temperaturas de 60, 70 e 80 °C com fluxo de ar de $12 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e altura da camada de 50 cm, o tempo de secagem diminuiu com o aumento da temperatura, sendo que o tempo médio de secagem para a temperatura de 60 °C foi de 16,11 horas, para 70 °C foi de 13,78 horas e para 80 °C foi de 11,15 horas. Diversos pesquisadores apontam a temperatura como o principal fator de influência na cinética de secagem dos mais diversos produtos agrícolas, como YOSHIDA (1997) com milho super-doce, PRADO (1998) com tâmara, SILVA (1999) com vagens de algaroba, NISHIYAMA et al. (2006) com trigo e arroz, RAO et al. (2007) com arroz.

Observa-se correspondência direta entre a diminuição da razão de água e o aumento da temperatura. O efeito da diferença de temperatura sobre a razão de água é mais intenso entre 40 e 50 °C; entre 70 e 80 °C, a diferença de temperatura praticamente não influenciou sobre a razão de água nas primeiras 5 horas de secagem, como se vê pelo posicionamento das curvas.

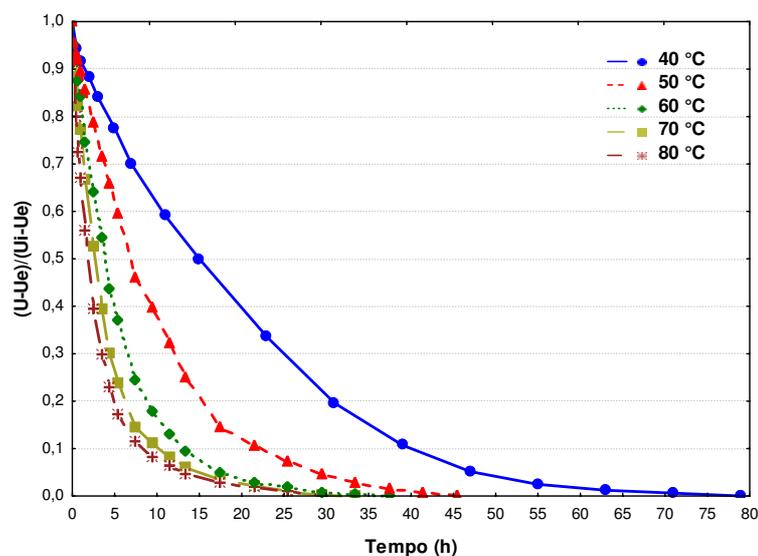


Figura 4.1 - Curvas de secagem das amêndoas ICP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C

Na Tabela 4.1 são apresentados os parâmetros de ajuste dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional aos dados da cinética de secagem das amêndoas ICP, os respectivos coeficientes de determinação R^2 e os desvios quadráticos médios (DQM).

Observa-se que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais de secagem, apresentando coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,95, podendo ser usados na predição da cinética de secagem de amêndoas ICP. Percebe-se que o modelo logarítmico resultou nos maiores valores de R^2 e os menores DQM para as temperaturas de 40, 50 e 70 °C. Outros autores que obtiveram melhores ajustes com o modelo logarítmico, foram TOGRUL & PEHLIVAN (2002; 2003) com abricó, DOYMAZ (2004b; 2007) com amora e abóbora, GOYAL et al. (2007) com ameixa, SACILIK (2007) com semente de abóbora, XANTHOPOULOS et al. (2007) com figo e WANG et al. (2007) com maçã.

Nas temperaturas de 60 e 80 °C, os modelos Henderson e Page, respectivamente, resultaram nos melhores ajustes. GUEDES & FARIAS (2000) secando semente de urucum (*Bixa orellana* L.), testaram várias equações semi-empíricas para predição da cinética de secagem, sendo que a equação de Henderson produziu os melhores R^2 , superiores a 0,99 na maioria dos ajustes.

Verifica-se que o parâmetro K do modelo de Page, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional, aumentou com o aumento da temperatura; CORRÊA et al. (2001) ao secarem milho de pipoca com teores de umidade inicial de 23,5 e 17,5%, em base seca, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, encontraram uma proporcionalidade direta entre o parâmetro K da equação de Page e a temperatura, concordando também com outros estudos, como TARIGAN et al. (2007) com nozes, KINGSLY & SINGH (2007) com romã, SIMAL et al. (2005) com kiwi, VEGA et al. (2007) com pimentão vermelho, KALEEMULLAH & KAILAPPAN (2006) com pimenta vermelha.

Tabela 4.1 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem das amêndoas de jaca ICP

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		K	n				
Page	40	0,0459	1,0401	0,9980	0,0850		
	50	0,0942	1,0306	0,9995	0,0442		
	60	0,1833	0,9936	0,9998	0,0251		
	70	0,2714	0,9586	0,9994	0,0439		
	80	0,4108	0,8401	0,9992	0,0458		
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro				R^2	DQM
		A	B	C	D		
Henderson	40	0,4934	0,0507	0,4934	0,0507	0,9980	0,0876
	50	0,4979	0,1001	0,4979	0,1001	0,9994	0,0510
	60	0,0464	0,0767	0,9559	0,1898	0,9998	0,0226
	70	0,4978	0,2561	0,4978	0,2561	0,9993	0,0437
	80	0,4812	0,3333	0,4812	0,3333	0,9970	0,0977
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		A	K				
Henderson & Pabis	40	0,9869	0,0507	0,9980	0,0876		
	50	0,9958	0,1001	0,9994	0,0510		
	60	0,9999	0,1814	0,9998	0,0249		
	70	0,9955	0,2561	0,9993	0,0437		
	80	0,9624	0,3333	0,9970	0,0977		
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro			R^2	DQM	
		A	K	C			
Logarítmico	40	1,0289	0,0444	-0,0519	0,9991	0,0563	
	50	1,0089	0,0961	-0,0166	0,9996	0,0406	
	60	0,9966	0,1835	0,0044	0,9998	0,0241	
	70	0,9835	0,2686	0,0170	0,9996	0,0343	
	80	0,9426	0,3688	0,0317	0,9985	0,0728	
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		K					
Difusional	40	0,0285		0,9547	0,4321		
	50	0,0535		0,9557	0,4527		
	60	0,0952		0,9634	0,3635		
	70	0,1337		0,9679	0,3046		
	80	0,1810		0,9772	0,2141		

Tem-se, nas Figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6, os pontos experimentais das cinéticas de secagem das amostras ICP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional. Observa-se, em todas as figuras, exceto para o modelo difusional, uma coincidência das curvas de ajuste nas primeiras horas de secagem com boa aproximação dos pontos experimentais, refletindo nos valores dos parâmetros R^2 e DQM; este comportamento foi mais acentuado nas temperaturas mais baixas e o modelo difusional tem ajustes progressivamente melhores com o aumento de temperatura, como fica demonstrado nessas condições, pelos maiores valores de R^2 e menores DQM.

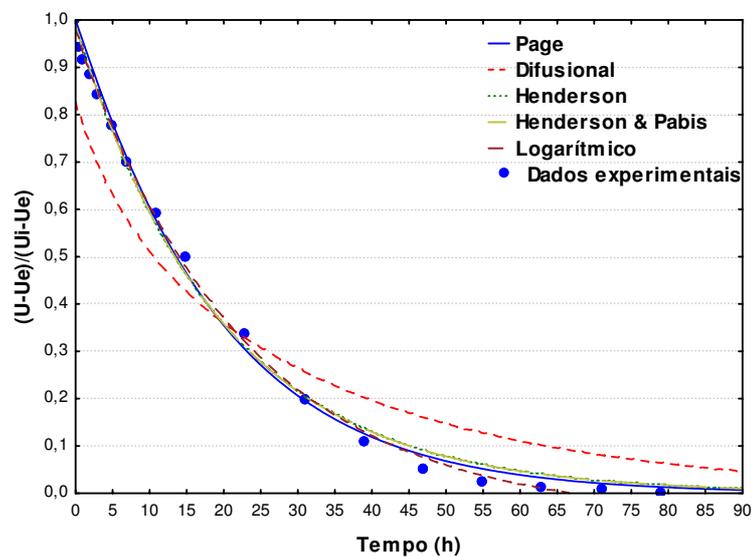


Figura 4.2 - Cinética de secagem das amêndoas ICP a 40 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

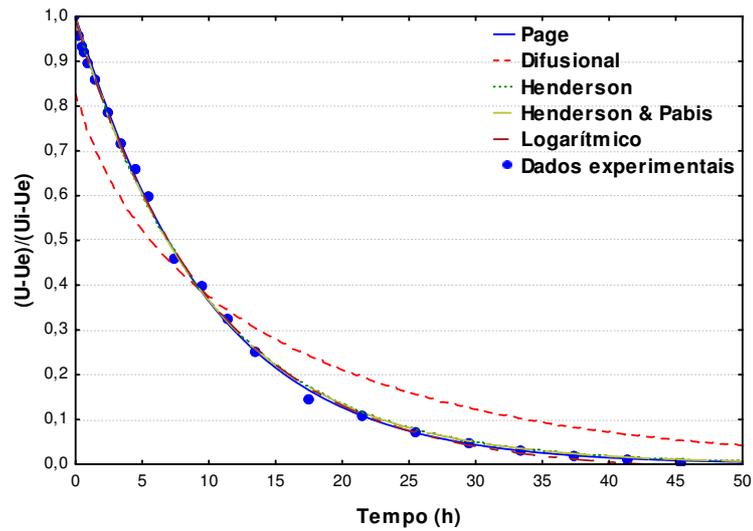


Figura 4.3 - Cinética de secagem das amêndoas ICP a 50 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

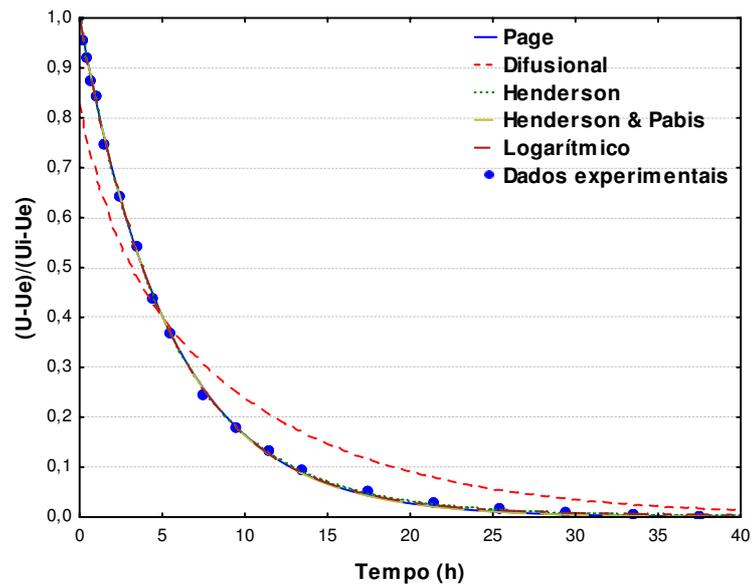


Figura 4.4 - Cinética de secagem das amêndoas ICP a 60 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

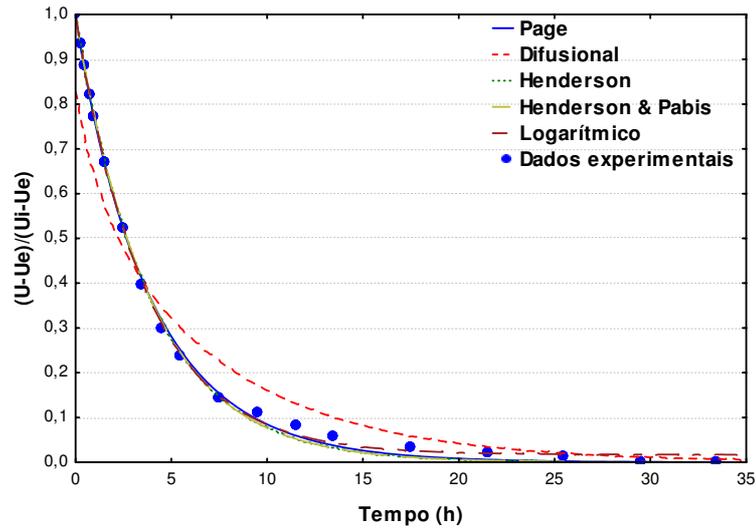


Figura 4.5 - Cinética de secagem das amêndoas ICP a 70 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

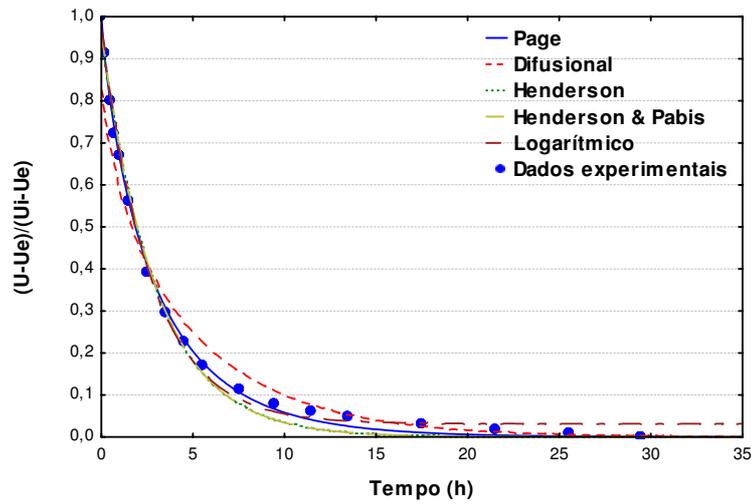


Figura 4.6 - Cinética de secagem das amêndoas ICP a 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

4.1.1.2 – Secagem das amêndoas inteiras sem película (ISP)

Na Figura 4.7 se apresentam os pontos experimentais da secagem de amêndoas de jaca ISP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, da razão de água em função do tempo. Percebe-se que a perda de água é mais acentuada no início do processo de secagem, que foi realizada em 29,50 horas na temperatura de 80 °C, em 33,50 horas a 70 °C; em 37,50 horas a 60 °C; em 45,50 horas a 50 °C e em 47 horas a 40 °C, em que a diferença na temperatura de secagem de 40 °C reduziu o tempo de secagem em aproximadamente 37,2%.

KOYUNCU et al. (2004) desidrataram castanhas (*Castanea sativa* Mill.) em secador de fluxo paralelo em camada fina, encontrando o menor tempo de secagem em 43 horas, na temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 1,0 m.s⁻¹.

Como ocorrido nas amêndoas ICP, observa-se que as secagens foram progressivamente mais rápidas conforme se aumentou a temperatura e entre 70 e 80 °C esta diferença é mais notável das 5 às 15 horas.

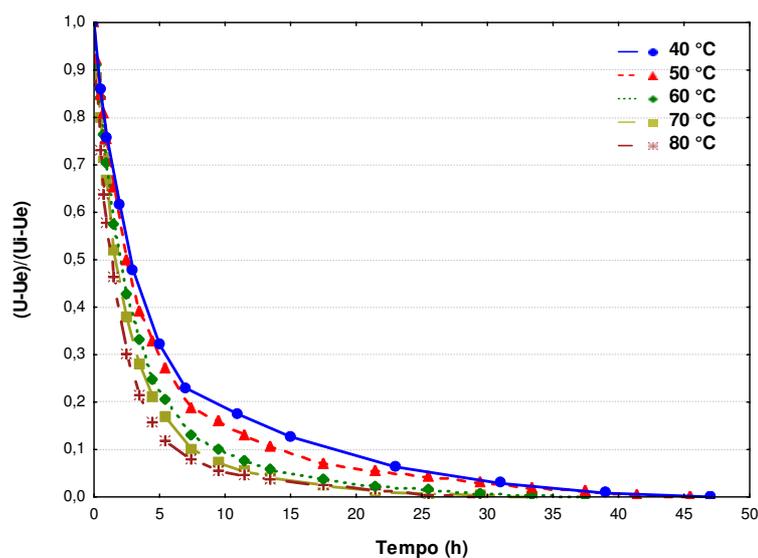


Figura 4.7 Curvas de secagem das amêndoas ISP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C

Na Tabela 4.2 são apresentados os parâmetros de ajuste dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional aos dados da cinética de secagem das amêndoas ISP, os respectivos coeficientes de determinação R^2 e os desvios quadráticos médios (DQM).

Nota-se que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais de secagem, apresentando coeficientes de determinação (R^2) com valores superiores a 0,97, podendo ser usados na predição da cinética de secagem das amêndoas ISP. No modelo de Page tem-se os maiores valores de R^2 e os menores DQMs para as temperaturas de 40, 60, 70 e 80 °C, seguidos do modelo de Henderson para temperatura de 50 °C. Obtiveram-se os piores ajustes com o modelo difusional; nota-se também que o parâmetro K dos modelos de Page, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional aumentou com o aumento da temperatura. GIRALDO-ZUÑIGA et al. (2006) também verificaram que o parâmetro K do modelo de Page aumentou com o aumento da temperatura ao secarem jaca em secador de bandejas com convecção vertical nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 4.2 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem das amêndoas ISP

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		K	n				
Page	40	0,3030	0,7622	0,9978	0,0685		
	50	0,3158	0,8007	0,9982	0,0839		
	60	0,3696	0,8508	0,9990	0,0588		
	70	0,4354	0,8348	0,9994	0,0426		
	80	0,5515	0,7955	0,9990	0,0450		
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro				R^2	DQM
		A	B	C	D		
Henderson	40	0,4755	0,2021	0,4755	0,2021	0,9928	0,1102
	50	0,2959	0,0806	0,7018	0,3981	0,9998	0,0237
	60	0,4839	0,3011	0,4839	0,3011	0,9972	0,0926
	70	0,4785	0,3517	0,4785	0,3517	0,9974	0,0838
	80	0,4741	0,4482	0,4741	0,4482	0,9955	0,1137
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		A	K				
Henderson & Pabis	40	0,9509	0,2021	0,9928	0,1102		
	50	0,9556	0,2276	0,9951	0,1256		
	60	0,9679	0,3011	0,9972	0,0926		
	70	0,9570	0,3517	0,9974	0,0838		
	80	0,9483	0,4482	0,9955	0,1137		
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro			R^2	DQM	
		A	K	C			
Logarítmico	40	0,9220	0,2329	0,0445	0,9957	0,0918	
	50	0,9314	0,2579	0,0382	0,9975	0,0932	
	60	0,9505	0,3284	0,0275	0,9984	0,0731	
	70	0,9419	0,3805	0,0245	0,9984	0,0692	
	80	0,9304	0,5006	0,0323	0,9975	0,0846	
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		K					
Difusional	40	0,1075		0,9787	0,1655		
	50	0,1223		0,9789	0,2182		
	60	0,1614		0,9774	0,2160		
	70	0,1931		0,9798	0,1952		
	80	0,2475		0,9818	0,1695		

Nas Figuras 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12, são apresentados os pontos experimentais das cinéticas de secagem das amostras ISP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional; conforme verificado com as amostras ICP, as melhores previsões dos modelos ocorreram nas primeiras horas de secagem.

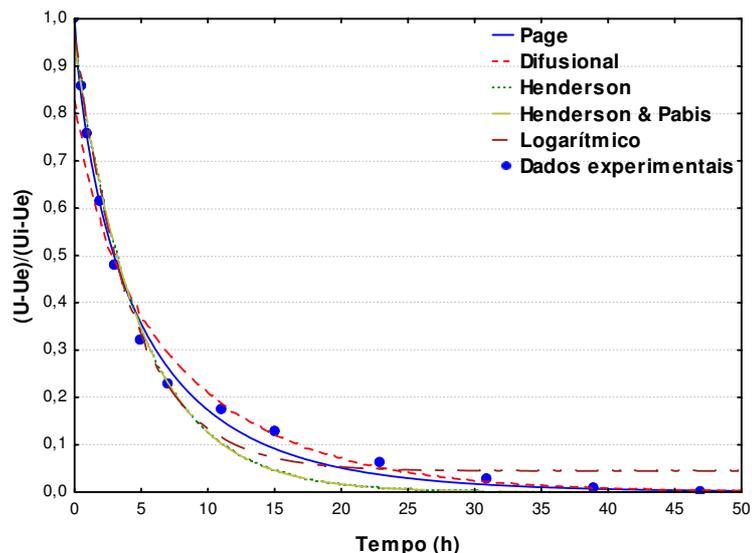


Figura 4.8 - Cinética de secagem das amêndoas ISP a 40 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

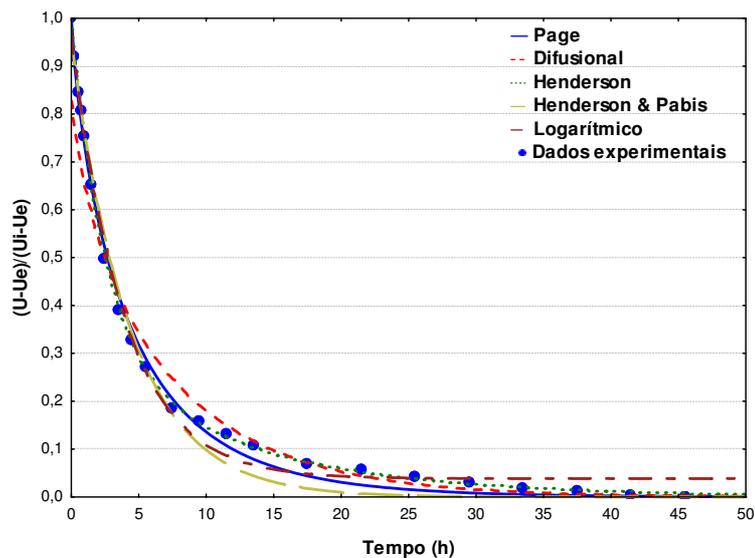


Figura 4.9 - Cinética de secagem das amêndoas ISP a 50 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

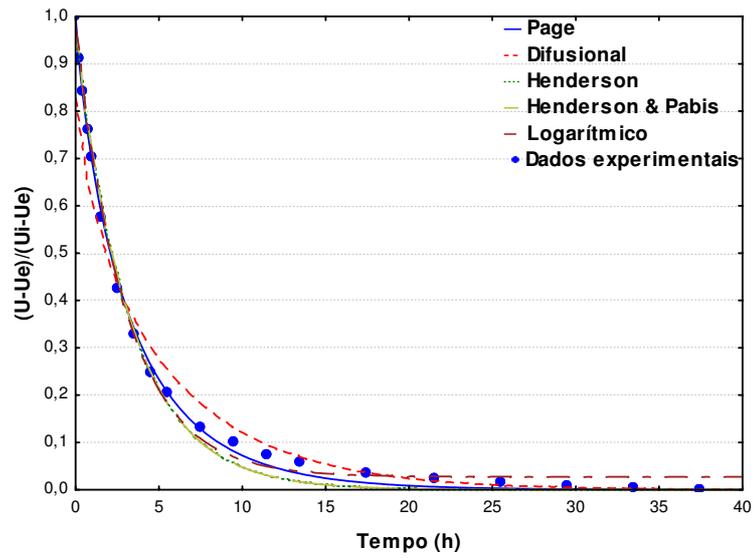


Figura 4.10 - Cinética de secagem das amêndoas ISP a 60 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

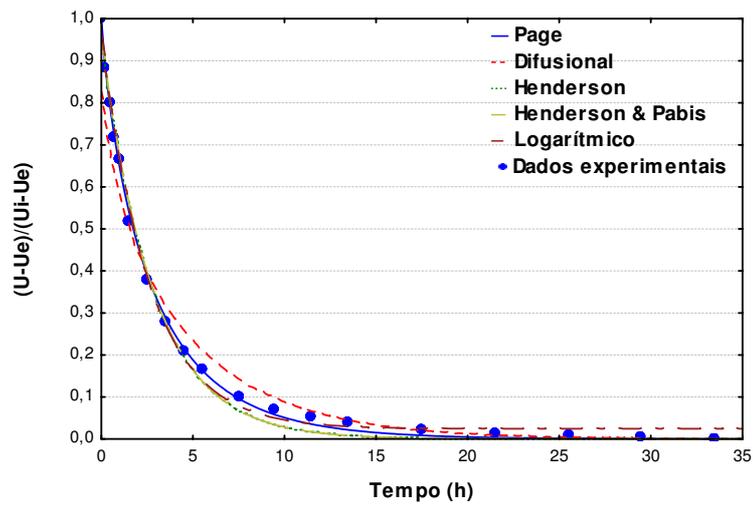


Figura 4.11 - Cinética de secagem das amêndoas ISP a 70 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

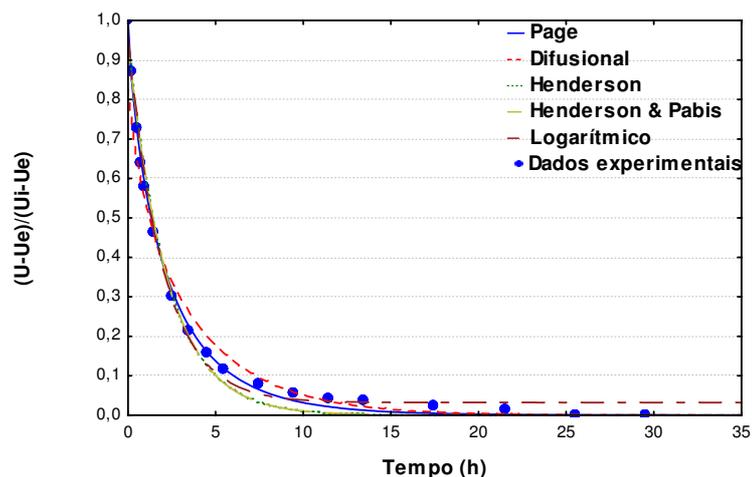


Figura 4.12 - Cinética de secagem das amêndoas ISP a 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

4.1.1.3 – Secagem das amêndoas em metades com película (MCP)

Na Figura 4.13 são apresentados os pontos experimentais de secagem das amêndoas MCP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, pela razão de umidade em função do tempo. Verifica-se que a perda de água é mais acentuada no início do processo de secagem e que a perda de água é mais acentuada no início do processo de secagem. As secagens foram realizadas em 29,50 horas na temperatura de 80 °C; em 33,50 horas a 70 °C; em 37,50 horas a 60 °C; em 45,50 horas a 50 °C; e 47 horas a 40 °C, em que a diferença na temperatura de secagem de 40 °C reduziu o tempo de secagem em aproximadamente 37,2%. Tempo de secagem inferior foi obtido por CAVALCANTI MATA & OLIVEIRA (1989) ao secaram feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.) em estufa com circulação de ar, obtendo o maior tempo de secagem de 32,5 horas, utilizando a temperatura de 55 °C com velocidade de circulação de ar de 76 m.min⁻¹.

Observa-se uma influência menor de diferenças de temperatura sobre a velocidade das secagens nas temperaturas mais altas (60, 70 e 80 °C), principalmente nas primeiras 5 horas de secagem; entre 40 e 50 °C e 50 e 60 °C, as diferenças de temperaturas influem sobre a velocidade de secagem de forma mais pronunciada, sobretudo nas primeiras 25 horas.

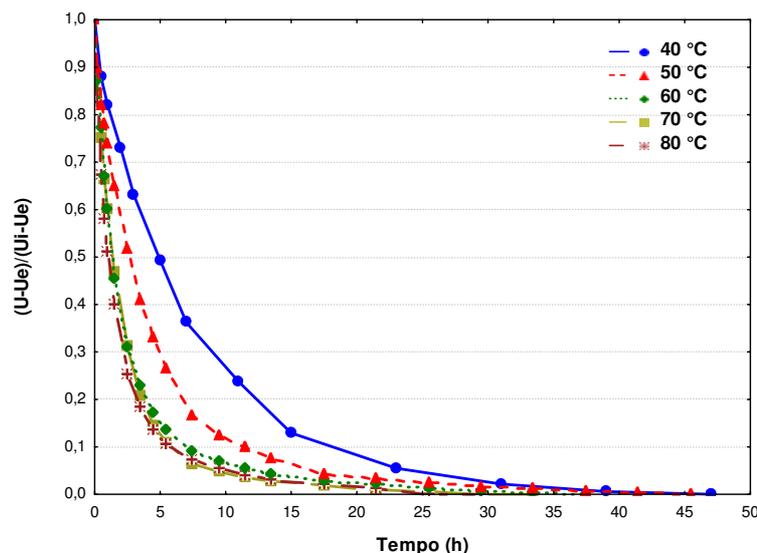


Figura 4.13 - Curvas de secagem das amêndoas MCP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C

Na Tabela 4.3 são apresentados os parâmetros de ajuste dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional aos dados da cinética de secagem das amêndoas MCP, os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM).

Observa-se que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,97, adequados, portanto, para predição da cinética de secagem das amêndoas MCP. O modelo de Page resultou nos melhores ajustes, com maiores valores de R^2 e menores DQM para todas as temperaturas. Outros autores que utilizaram este modelo obtiveram o mesmo desempenho para diferentes produtos agrícolas: AFONSO JÚNIOR & CORRÊA (1999) com feijão; ABALONE et al. (2006) com sementes de amaranto (*Amaranthus cruentus*); TIRONI et al. (2004) com sementes de *Carthamus tinctorius* L.; BASUNIA & ABE (2001; 2005) com arroz; CAVALCANTI MATA (1997) com feijão; DOYMAZ & PALA (2002; 2003), respectivamente, com pimenta e milho; DOYMAZ (2004) com amora; CALOMENI et al. (2005) com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.); KASHANINEJAD (2007) com pistache; TABATABAEE et al. (2004) com trigo; e NITZ & TARANTO (2007) com feijão (*Phaseolus vulgaris*).

Como nas amostras ICP e ISP, o parâmetro K do modelo de Page, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional nas amostras MCP aumentou com o aumento da temperatura. CORRÊA et al. (2001) também constataram este comportamento para o parâmetro K do modelo de Page, ao ajustarem este modelo aos dados experimentais da secagem em camada fina do milho-pipoca para temperaturas entre 40 e 60 °C.

Tabela 4.3 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem das amêndoas MCP

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		K	n				
Page	40	0,1801	0,8777	0,9994	0,0354		
	50	0,3189	0,8241	0,9996	0,0369		
	60	0,3856	0,8675	0,9994	0,0424		
	70	0,5298	0,8404	0,9995	0,0356		
	80	0,6613	0,7341	0,9988	0,0485		
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro				R^2	DQM
		A	B	C	D		
Henderson	40	0,4801	0,1351	0,4801	0,1351	0,9990	0,0414
	50	0,4730	0,2326	0,4730	0,2326	0,9981	0,0736
	60	0,4831	0,3211	0,4831	0,3211	0,9983	0,0684
	70	0,4775	0,4458	0,4775	0,4458	0,9979	0,0736
	80	0,4658	0,5305	0,4658	0,5305	0,9924	0,1358
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		A	K				
Henderson & Pabis	40	0,9602	0,1351	0,9990	0,0414		
	50	0,9459	0,2326	0,9981	0,0736		
	60	0,9662	0,3211	0,9983	0,0684		
	70	0,9550	0,4458	0,9979	0,0736		
	80	0,9317	0,5305	0,9924	0,1358		
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro			R^2	DQM	
		A	K	C			
Logarítmico	40	0,9547	0,1377	0,0072	0,9991	0,0407	
	50	0,9319	0,2476	0,0204	0,9988	0,0589	
	60	0,9520	0,3434	0,0218	0,9991	0,0549	
	70	0,9425	0,4764	0,0207	0,9988	0,0602	
	80	0,9139	0,6101	0,0374	0,9957	0,1056	
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		K					
Difusional	40	0,0735		0,9735	0,2448		
	50	0,1306		0,9816	0,2077		
	60	0,1741		0,9781	0,2151		
	70	0,2468		0,9816	0,1817		
	80	0,2976		0,9847	0,1399		

Nas Figuras 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18 são apresentados os pontos experimentais das cinéticas de secagem das amostras MCP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional. Da mesma forma que nas amostras anteriores, a piora nos ajustes, demonstrada pelo afastamento das curvas de predição de secagem em relação aos pontos experimentais, ocorre nos tempos maiores.

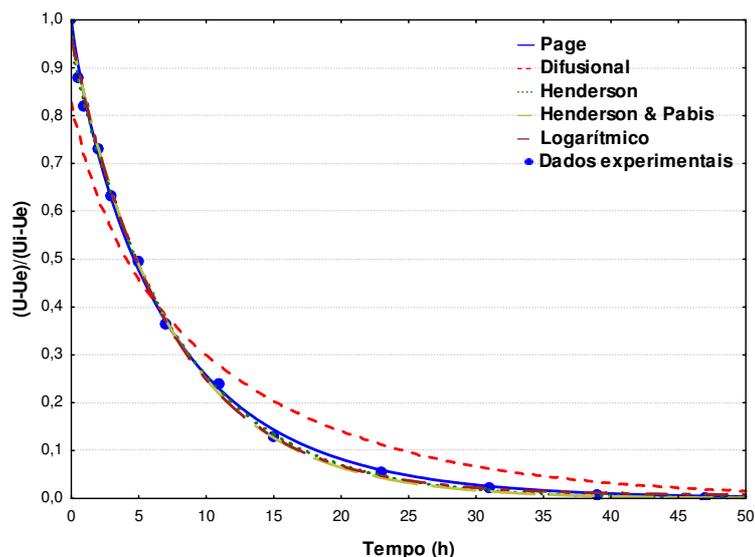


Figura 4.14 - Cinética de secagem das amêndoas MCP a 40 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

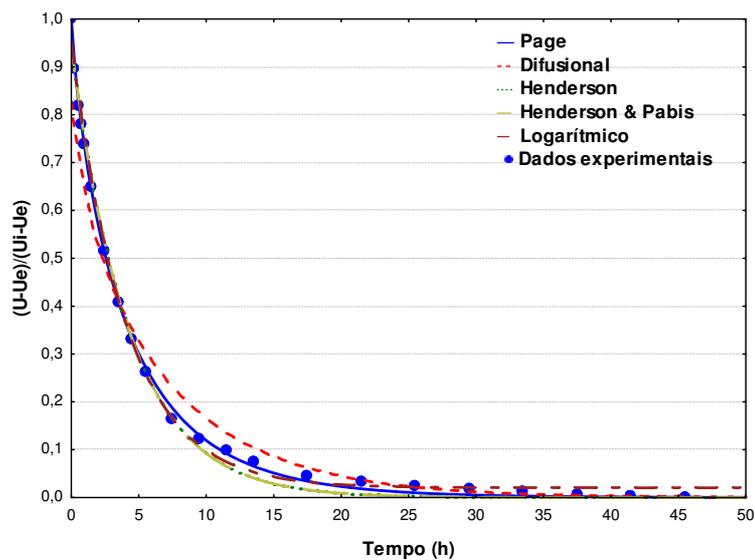


Figura 4.15 - Cinética de secagem das amêndoas MCP a 50 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

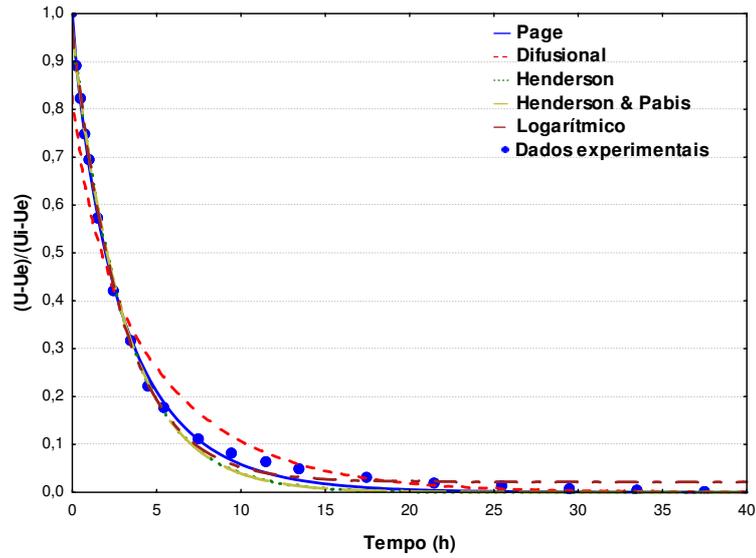


Figura 4.16 - Cinética de secagem das amêndoas MCP a 60 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

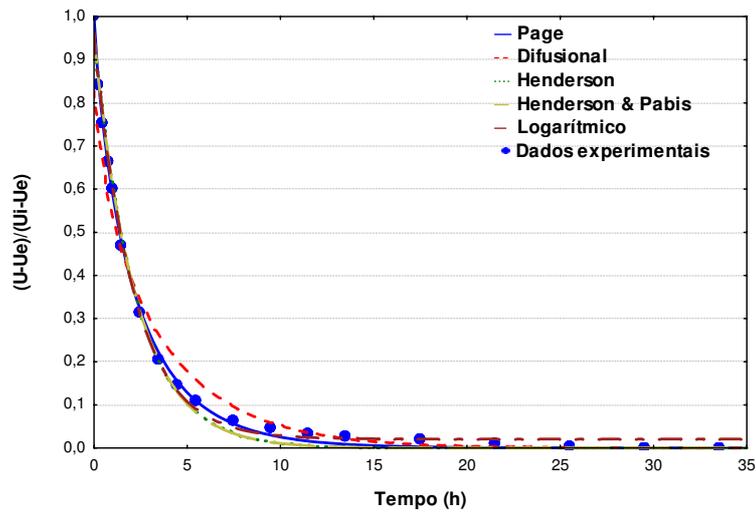


Figura 4.17 - Cinética de secagem das amêndoas MCP a 70 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

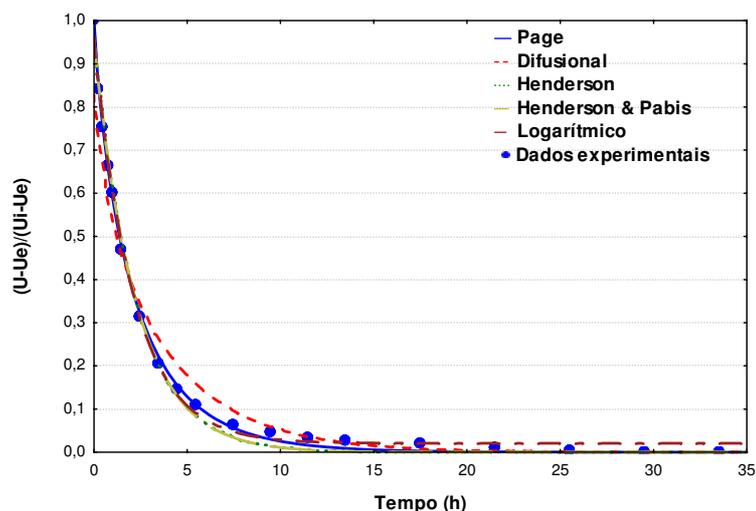


Figura 4.18 - Cinética de secagem das amêndoas MCP a 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

4.1.1.4 – Secagem das amêndoas em metades sem película (MSP)

Na Figura 4.19, são apresentados os pontos experimentais de secagem das amêndoas de jaca MSP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, pela razão de umidade em função do tempo. Percebe-se que a perda de água é mais acentuada no início do processo de secagem. As secagens foram realizadas em 29,50 horas na temperatura de 80 °C; em 33,50 horas a 70 °C; em 37,50 horas a 60 °C; em 45,50 horas a 50 °C; e 39 horas a 40 °C, onde a diferença na temperatura de secagem de 30 °C reduziu o tempo de secagem em aproximadamente 35,1%. Tempo de secagem muito inferior foi verificado por VILLELA & SILVA (1992) ao desidrataram milho do híbrido duplo AG-162 em um secador de fluxo contínuo, obtendo um tempo de secagem de 4 horas na temperatura de 80 °C.

Observa-se pouco efeito do aumento da temperatura na redução da razão de água com o tempo entre as temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C, principalmente nas primeiras 5 horas de secagem. Os maiores efeitos são observados entre 40 e 60 °C.

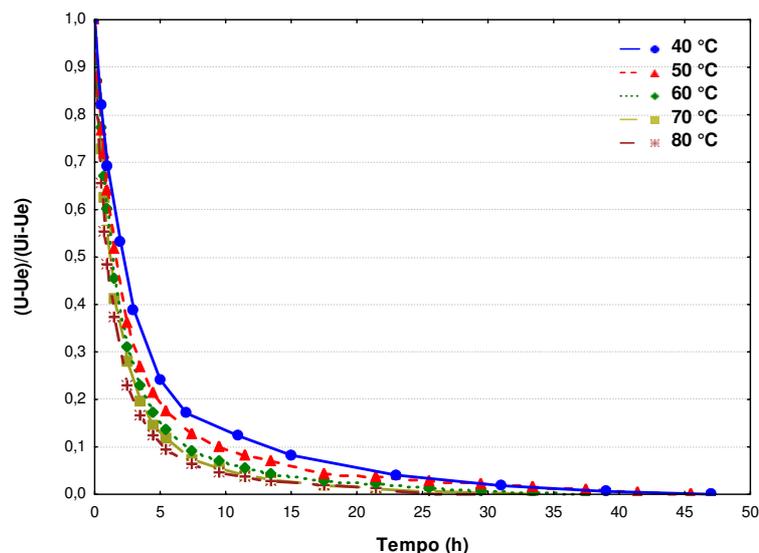


Figura 4.19 - Curvas de secagem das amêndoas MSP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C

Na Tabela 4.4 se apresentam os parâmetros de ajuste dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional aos dados da cinética de secagem das amêndoas MSP, os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM).

Observa-se que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,98, podendo ser usados na predição da cinética de secagem das amêndoas MSP. O modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos pontos experimentais, com os maiores valores de R^2 e os menores DQM para todas as temperaturas, seguido do modelo logarítmico.

Como nas amostras ICP, ISP e MCP, o parâmetro K do modelo de Page, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional nas amostras MSP aumentou com o aumento da temperatura. COSTA et al. (2005) também verificaram este aumento do parâmetro K do modelo de Page, ao ajustarem o modelo aos dados experimentais da secagem em leito fixo em camada fina de sementes de jaca dura nas temperaturas entre 40 e 80 °C.

Tabela 4.4 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem das amêndoas MSP

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		K	n				
Page	40	0,3843	0,7600	0,9982	0,0599		
	50	0,4673	0,7587	0,9978	0,0833		
	60	0,5181	0,8060	0,9982	0,0691		
	70	0,5956	0,7790	0,9989	0,0518		
	80	0,7063	0,7386	0,9985	0,0532		
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro				R^2	DQM
		A	B	C	D		
Henderson	40	0,4758	0,2738	0,4758	0,2738	0,9936	0,1045
	50	0,4697	0,3456	0,4697	0,3456	0,9934	0,1418
	60	0,4783	0,4261	0,4783	0,4261	0,9953	0,1158
	70	0,4719	0,4856	0,4719	0,4856	0,9951	0,1097
	80	0,4691	0,5902	0,4691	0,5902	0,9924	0,1356
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		A	K				
Henderson & Pabis	40	0,9516	0,2738	0,9936	0,1045		
	50	0,9395	0,3456	0,9934	0,1418		
	60	0,9565	0,4261	0,9953	0,1158		
	70	0,9437	0,4856	0,9951	0,1097		
	80	0,9381	0,5902	0,9924	0,1356		
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro			R^2	DQM	
		A	K	C			
Logarítmico	40	0,9266	0,3098	0,0388	0,9964	0,0861	
	50	0,9189	0,3943	0,0371	0,9966	0,1061	
	60	0,9392	0,4748	0,0315	0,9974	0,0906	
	70	0,9280	0,5397	0,0299	0,9971	0,0924	
	80	0,9214	0,6740	0,0358	0,9956	0,1051	
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		K					
Difusional	40	0,1480		0,9807	0,1557		
	50	0,1901		0,9829	0,1879		
	60	0,2301		0,9811	0,1848		
	70	0,2688		0,9837	0,1602		
	80	0,3271		0,9844	0,1338		

Apresentam-se, nas Figuras 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 e 4.24, os pontos experimentais das cinéticas de secagem das amostras MSP nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional. Observa-se que o desempenho dos modelos de Henderson e Henderson & Pabis piorou em razões de água abaixo de 0,2, afastando-se dos pontos experimentais.

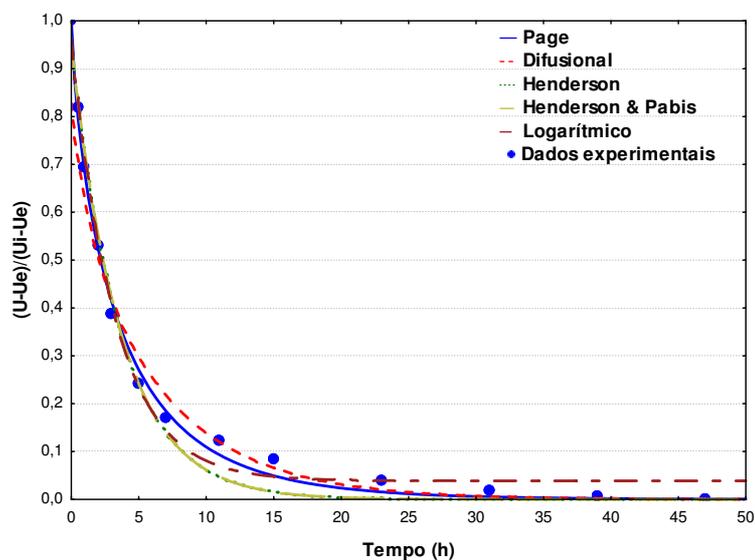


Figura 4.20 - Cinética de secagem das amêndoas MSP a 40 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

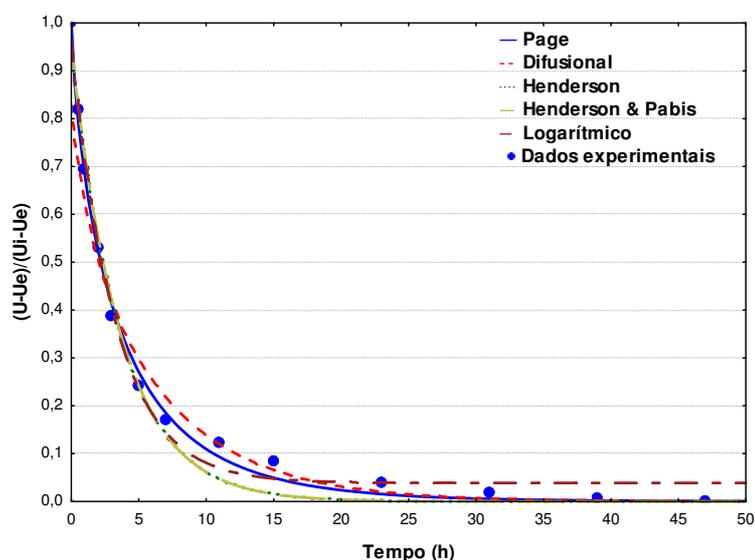


Figura 4.21 - Cinética de secagem das amêndoas MSP a 50 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

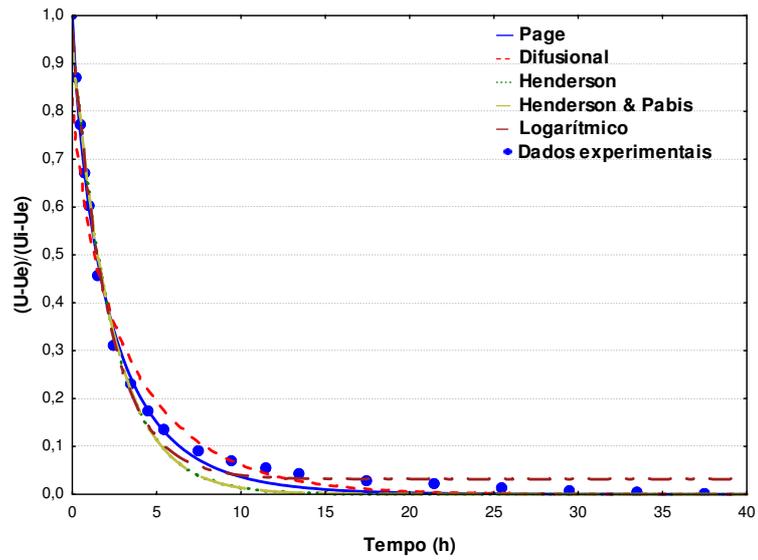


Figura 4.22 - Cinética de secagem das amêndoas MSP a 60 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

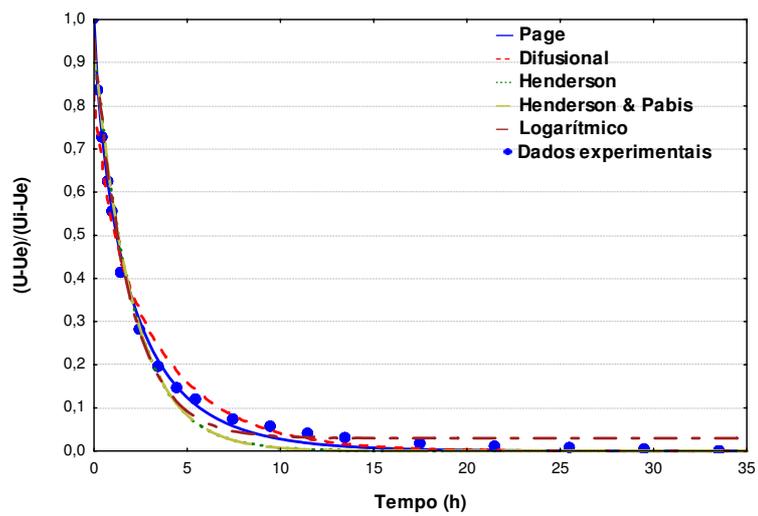


Figura 4.23 - Cinética de secagem das amêndoas MSP a 70 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

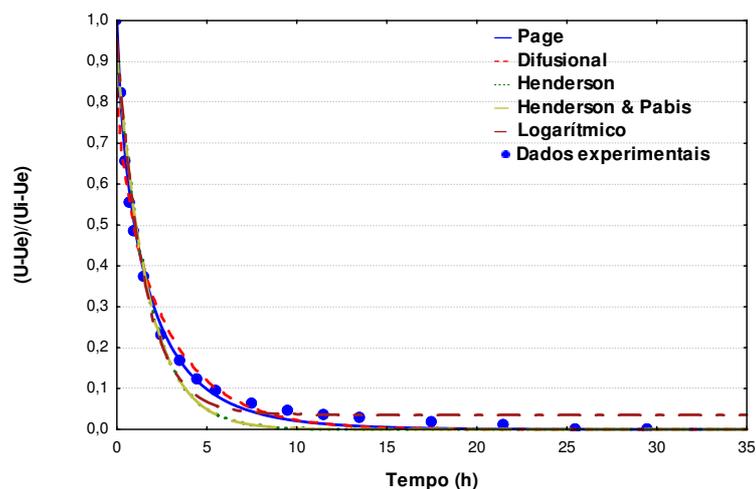


Figura 4.24 - Cinética de secagem das amêndoas MSP a 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis, logarítmico e difusional

4.1.1.5 – Secagem das amêndoas moídas

Na Figura 4.25 são apresentados os pontos experimentais de secagem das amêndoas de jaca moídas nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, pela razão de umidade em função do tempo. A secagem foi realizada durante 3,33 horas na temperatura de 80 °C, 4,58 horas a 70 °C, 6,58 horas a 60 °C, 5,58 horas a 50 °C e 9,58 horas a 40 °C, em que o tempo de secagem foi reduzido em aproximadamente 65% entre as temperaturas de 40 e 80 °C. Tempo inferior de secagem foi obtido por SOUZA et al. (1986) ao desidrataram farinha da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K) em estufa com circulação de ar na temperatura de 70 °C, obtendo, ao final de um período de 3 horas, um teor de umidade de 2,4%.

Observa-se, tal como nas demais amostras, a correspondência entre a diminuição da razão de água e o aumento da temperatura. O maior efeito da diferença de temperatura é constatado entre 40 e 50 °C, enquanto entre 60 e 70 °C o efeito do aumento de temperatura é menos expressivo, tornando-se graficamente imperceptível na primeira hora de secagem.

ANDRADE et al. (2006), ao estudarem a cinética de secagem do farelo de soja nas temperaturas do ar de secagem de 50, 74, 85 e 97 °C e com velocidades do ar de secagem de 1,1 e 2,5 m/s, constataram que as curvas de secagem do farelo de soja apresentaram apenas o período de taxa decrescente de secagem.

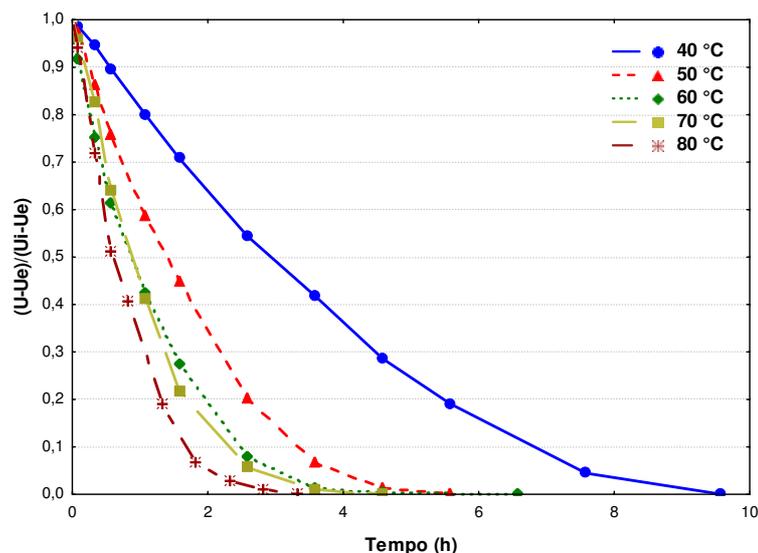


Figura 4.25 - Curvas de secagem das amêndoas moídas nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C

Apresentam-se, na Tabela 4.5, os parâmetros de ajuste dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico aos dados da cinética de secagem das amêndoas moídas, os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM).

Observa-se que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais de secagem, com coeficientes de determinação (R^2) com valores superiores a 0,99, podendo ser usados na predição da cinética de secagem das amêndoas moídas. Os modelos de Page e logarítmico resultaram nos maiores valores de R^2 e nos menores DQM para todas as temperaturas, mas os quatro modelos apresentaram ótimos ajustes; tal como ocorrido para as amostras inteiras e em metades, o parâmetro K dos modelos de Page, Henderson & Pabis e logarítmico, para as amêndoas moídas, aumentou com o aumento da temperatura de secagem, estando de acordo com o comportamento verificado por DOYMAZ (2005) ao ajustar o modelo de Henderson & Pabis aos dados experimentais da secagem em camada fina de feijão verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 4.5 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem das amêndoas moídas

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		K	n				
Page	40	0,1835	1,2860	0,9984	0,0548		
	50	0,4930	1,2507	0,9989	0,0457		
	60	0,8460	1,0463	0,9988	0,0480		
	70	0,8359	1,2791	0,9997	0,0226		
	80	1,2105	1,1959	0,9994	0,0302		
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro				R^2	DQM
		A	B	C	D		
Henderson	40	0,5193	0,2784	0,5193	0,2784	0,9933	0,1184
	50	0,5179	0,5921	0,5179	0,5921	0,9952	0,1073
	60	0,4989	0,8494	0,4989	0,8494	0,9986	0,0473
	70	0,5206	0,9015	0,5206	0,9015	0,9962	0,0913
	80	0,5159	1,2243	0,5159	1,2243	0,9973	0,0758
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		R^2	DQM		
		A	K				
Henderson & Pabis	40	1,0387	0,2784	0,9933	0,1184		
	50	1,0357	0,5921	0,9952	0,1073		
	60	0,9977	0,8494	0,9987	0,2178		
	70	1,0412	0,9015	0,9962	0,0913		
	80	1,0319	1,2243	0,9974	0,0758		
Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro			R^2	DQM	
		A	K	C			
Logarítmico	40	1,2560	0,1850	-0,2402	0,9992	0,0453	
	50	1,1338	0,4636	-0,1160	0,9987	0,0515	
	60	1,0189	0,7963	-0,0263	0,9992	0,0393	
	70	1,0859	0,8007	-0,0537	0,9977	0,0660	
	80	1,0703	1,0873	-0,0489	0,9988	0,0527	

Nas Figuras 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 e 4.30 tem-se os pontos experimentais da cinética de secagem das amostras moídas nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico. Constata-se pouca diferença entre as curvas de ajuste, com o modelo de Henderson tendo um distanciamento maior dos pontos experimentais, notadamente em razões de água abaixo de 0,2, exceto na temperatura de 60 °C.

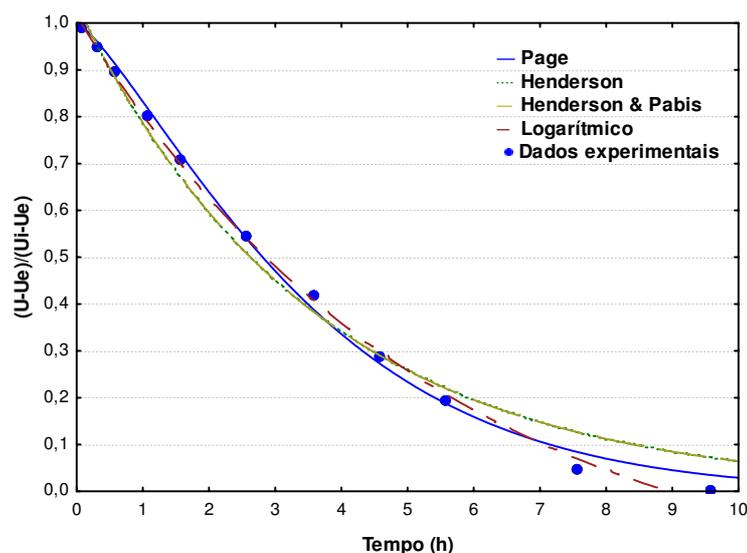


Figura 4.26 - Cinética de secagem das amêndoas moídas a 40 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico

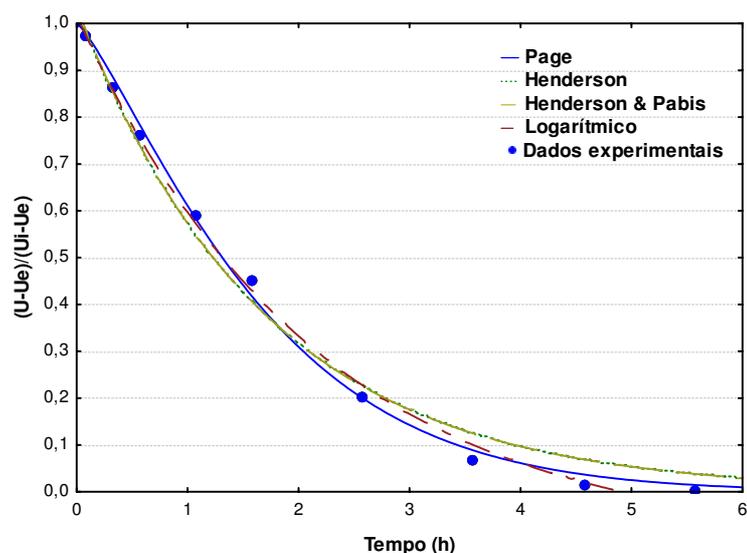


Figura 4.27 - Cinética de secagem das amêndoas moídas a 50 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico

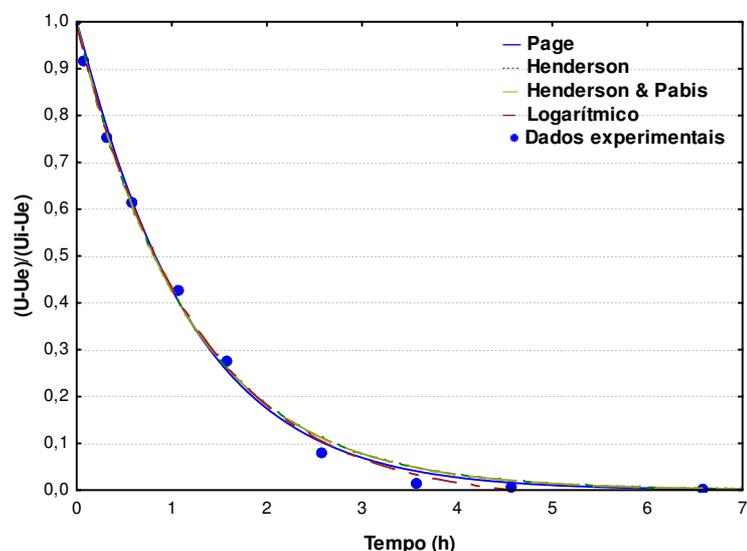


Figura 4.28 - Cinética de secagem das amêndoas moídas a 60 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico

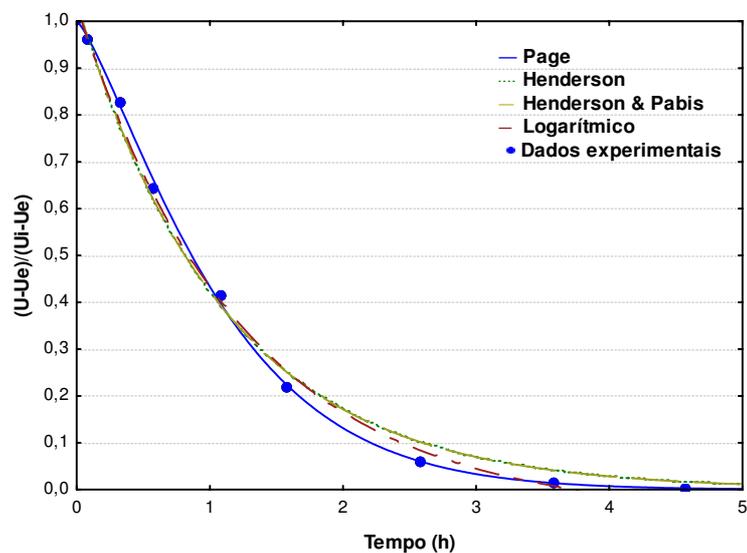


Figura 4.29 - Cinética de secagem das amêndoas moídas a 70 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico

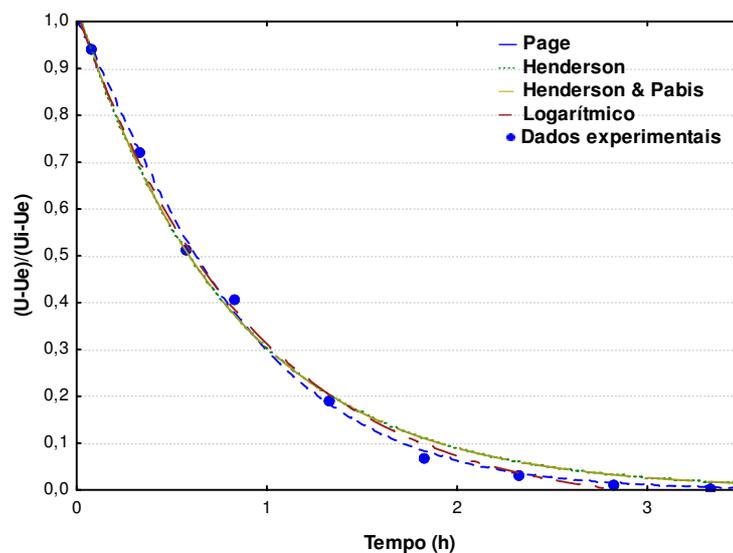


Figura 4.30 - Cinética de secagem das amêndoas moídas a 80 °C com ajustes pelos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico

4.1.2 - Secagem solar das amêndoas de jaca

Nas Tabelas A.26 a A.41 (Apêndice A), se encontram os dados experimentais das razões de umidade em função do tempo da secagem solar das amêndoas de jaca para os tratamentos ICP, ISP, MCP e MSP.

4.1.2.1 - Secagem por exposição direta ao sol durante o dia combinada com secador ACSN ou abrigo no período noturno

Tem-se na Tabela 4.6, os parâmetros de ajuste dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico aos dados das cinéticas de secagem solar das amêndoas de jaca ICP, ISP, MCP e MSP, os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM); o “T” colocado após a identificação de cada tratamento indica a testemunha, ou seja, amostra que durante a noite foi mantida fora do secador ACSN, em ambiente abrigado.

Dos modelos utilizados, o de Page e o logarítmico se ajustaram bem aos dados experimentais, com valores de coeficientes de determinação superiores a 0,96, podendo ser usados para predição da cinética de secagem das amêndoas. O modelo logarítmico apresentou, na maioria dos casos, os maiores valores de coeficientes de determinação (R^2) e os menores desvios quadráticos médios (DQM), porém a diferença de qualidade desses parâmetros em relação aos obtidos com o modelo de Page pode ser considerada insignificante. Os ajustes da secagem solar resultaram em predições com coeficientes de determinação menores e DQM maiores que os obtidos com a secagem artificial (estufa), o que é esperado, em virtude das condições de menor controle de temperatura.

Tabela 4.6 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico com respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) da cinética de secagem com exposição direta ao sol e secador ACSN (T=testemunha)

Modelo	Tratamento	Parâmetro		R^2	DQM		
		K	n				
Page	ICP/T	0,0016	2,1821	0,9698	0,2042		
	ICP	0,0218	1,2952	0,9714	0,1568		
	MCP/T	0,0062	1,7696	0,9733	0,1970		
	MCP	0,0369	1,1919	0,9906	0,1877		
	ISP/T	0,0029	2,0478	0,9801	0,1746		
	ISP	0,0723	1,0626	0,9943	0,0833		
	MSP/T	0,0086	1,7221	0,9756	0,1947		
	MSP	0,0731	1,0900	0,9960	0,0716		
Modelo	Tratamento	Parâmetro				R^2	DQM
		A	B	C	D		
Henderson	ICP/T	0,5417	0,0594	0,5417	0,0594	0,9256	0,3183
	ICP	-5,0488	0,0002	5,9877	0,0050	0,9907	0,1595
	MCP/T	0,5351	0,0640	0,5351	0,0640	0,9457	0,3843
	MCP	37,4848	0,1055	-36,5179	0,1073	0,9820	0,2080
	ISP/T	0,0951	0,0665	0,9959	0,0665	0,9420	0,3450
	ISP	0,5005	0,0857	0,5005	0,0857	0,9938	0,0901
	MSP/T	0,5327	0,0726	0,5327	0,0726	0,9513	0,3087
	MSP	0,5039	0,0932	0,5039	0,0932	0,9951	0,0849
Modelo	Tratamento	Parâmetro		R^2	DQM		
		a	K				
Henderson & Pabis	ICP/T	1,0835	0,0594	0,9257	0,3843		
	ICP	1,0184	0,0540	0,9633	0,2080		
	MCP/T	1,0702	0,0640	0,9458	0,3183		
	MCP	1,0127	0,0652	0,9768	0,1742		
	ISP/T	1,0910	0,0665	0,9421	0,3450		
	ISP	1,0009	0,0857	0,9938	0,0901		
	MSP/T	1,0655	0,0727	0,9514	0,3087		
	MSP	1,0079	0,0932	0,9952	0,0849		
Modelo	Tratamento	Parâmetro			R^2	DQM	
		a	K	C			
Logarítmico	ICP/T	6,6670	0,0049	-5,6652	0,9695	0,2129	
	ICP	5,5124	0,0052	-4,5735	0,9908	0,1002	
	MCP/T	2,6171	0,0145	-1,6231	0,9787	0,1715	
	MCP	1,4999	0,0289	-0,5436	0,9917	0,1059	
	ISP/T	2,3390	0,0179	-1,3185	0,9772	0,2049	
	ISP	1,0752	0,0675	-0,0979	0,9972	0,0524	
	MSP/T	1,6740	0,0291	-0,6688	0,9782	0,1915	
	MSP	1,0663	0,0764	-0,0785	0,9981	0,0493	

Nas Figuras 4.31, 4.32, 4.33 e 4.34 são apresentados os pontos experimentais da secagem das amêndoas ICP, ISP, MCP e MSP, com exposição direta ao sol combinada com secador ACSN e testemunha, ajustados linearmente por trechos, constando de primeira secagem noturna (N1), nas primeiras doze horas; secagem diurna (D1), entre 12 e 24 horas e segunda secagem noturna (N2), a partir de 24 horas. Nota-se, nas primeiras 12 horas e depois de 24 horas, que nos dois períodos de secagem noturna a secagem no secador ACSN apresentou os maiores coeficientes angulares (em valores absolutos), indicando uma secagem mais rápida e, portanto, melhor desempenho em relação à testemunha.

A retirada da película e o corte da amêndoa influenciaram diretamente na secagem, com a diminuição das razões de umidade em tempos semelhantes. No período das 12 às 24 horas, etapa de secagem no período diurno, observa-se que as curvas referentes às amostras utilizadas como testemunha apresentaram maior coeficiente angular (absoluto), ou secagem mais rápida; depois das 24 horas de secagem todas as amostras continuaram perdendo umidade dentro do secador ACSN, enquanto a testemunha continuou perdendo água, porém com menor intensidade. As umidades iniciais em base úmida tiveram variação de 52 a 48% nas amostras ICP, ISP, MCP e MSP e o secador ACSN proporcionou uma perda maior de água nas amêndoas ICP e MCP, totalizando de 2 e 10%, respectivamente, em relação à testemunha. Com as amêndoas ISP e MSP esta perda foi de 8% em relação à testemunha; as amêndoas MSP resultaram no melhor resultado na secagem com o secador ACSN, com a redução da umidade inicial de 50% para 15% (bu). AHRENS & LOLLATO (1997) secando feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio natural, em 11 horas efetivas de secagem ao sol, excluindo-se o período noturno e o de repouso de 15,5 horas, o grau de umidade passou de 25,4% para 13,1%. BRAGA et al. (2005) construíram um secador com aquecimento solar, tipo barcaça, utilizado na desidratação de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), conseguindo reduzir o tempo de secagem em 83% comparado com o sistema tradicional (secagem em terreiro).

SANTOS (2004), ao estudar uma metodologia de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar para secagem de produtos agrícolas, secou 1,2 t de milho utilizando uma vazão volumétrica específica de ar igual a $1,20 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ a temperatura de 50 °C, obtendo uma economia de 31% na energia demandada para o aquecimento de ar.

Investigando a secagem de bananas com energia solar, SCHIRMER et al. (1996) apresentaram um secador solar tipo túnel. Segundo os autores, a temperatura do ar de secagem na saída do coletor solar variou de 40 a 65 °C durante a secagem, dependendo das

condições climáticas e da hora do dia, sendo que o processo demorou de 3 a 5 dias, em comparação aos 5 a 7 dias necessários para a secagem solar com ar natural. MORAES NETO et al. (1998), desidrataram banana (*Musa sp.*) madura e verde durante 18 horas ao sol, combinada com secagem em estufa, para produzir uma farinha de baixo custo, conseguindo obter em média 13,8% (bu) para banana madura e 7,2% (bu) para banana verde.

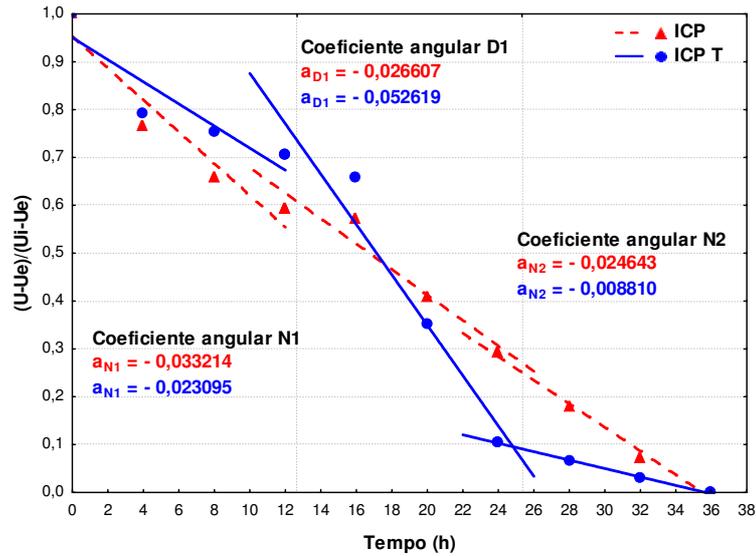


Figura 4.31 - Secagem das amêndoas ICP por exposição direta ao sol durante o dia, combinada com secador ACSN e ao abrigo (testemunha) durante o período noturno

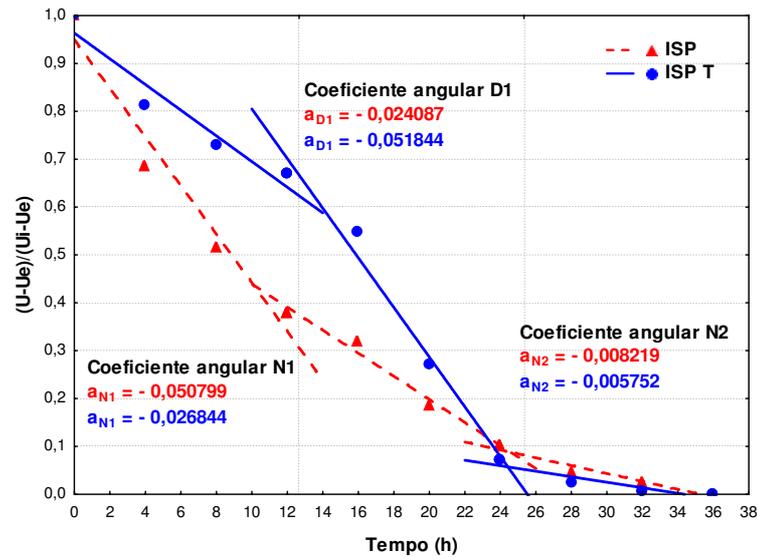


Figura 4.32 - Secagem das amêndoas ISP por exposição direta ao sol durante o dia, combinada com secador ACSN e ao abrigo (testemunha) durante o período noturno

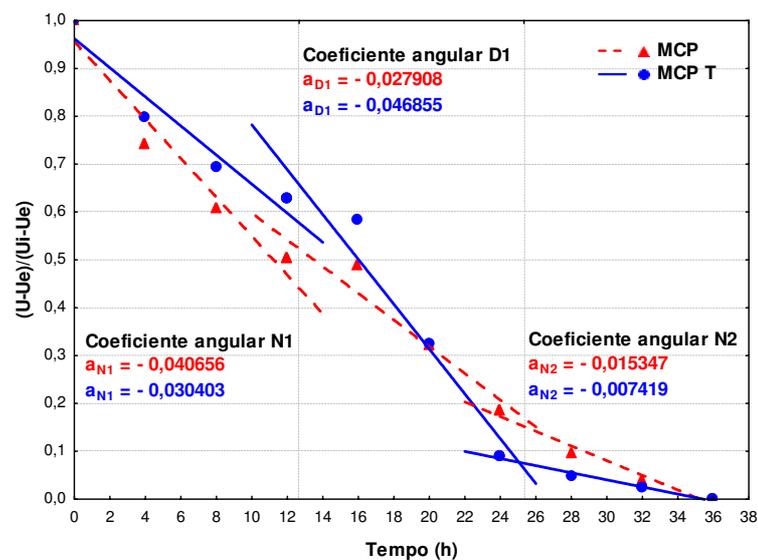


Figura 4.33 - Secagem das amêndoas MCP por exposição direta ao sol durante o dia, combinada com secador ACSN e ao abrigo (testemunha) durante o período noturno.

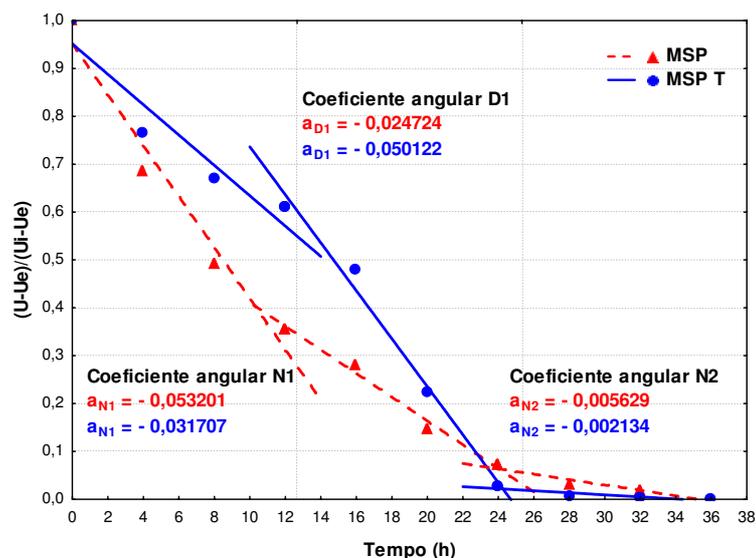


Figura 4.34 Secagem das amêndoas MSP por exposição direta ao sol durante o dia, combinada com secador ACSN e ao abrigo (testemunha) durante o período noturno

4.1.2.2 Secagem em secador solar durante o dia, combinada com secador ACSN ou abrigo no período noturno

Na Tabela 4.7, são apresentados os parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logarítmico, os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM), utilizados para os ajustes das cinéticas de secagem das amêndoas de jaca ICP, ISP, MCP e MSP utilizando-se, nas secagens, ambos os secadores, ou seja, o secador de uso diurno e o secador ACSN mais a testemunha; o “T” colocado após a identificação de cada tratamento indica a testemunha, isto é, amostra que durante a noite foi mantida fora do secador, em ambiente abrigado.

Todos os modelos utilizados se ajustaram bem aos dados experimentais da secagem, com valores de coeficientes de determinação superiores a 0,97, podendo ser usados para predição da cinética de secagem das amêndoas de jaca. O modelo logarítmico apresentou os maiores valores de R^2 e os menores desvios quadráticos médios (DQM), porém é pouco expressiva a diferença de qualidade desses parâmetros em relação aos obtidos com o modelo de Page.

Tabela 4.7 - Parâmetros dos modelos de Page, Henderson, Henderson & Pabis e logaritmo com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM), da cinética de secagem das amêndoas utilizando-se os secadores de uso diurno e secador ACSN (T=testemunha)

Modelo	Tratamento	Parâmetro		R^2	DQM
		K	n		
Page	I.C.P/T	0,2118	0,7770	0,9782	0,2087
	I.C.P	0,2238	0,7990	0,9836	0,1851
	M.C.P/T	0,2698	0,9272	0,9894	0,1322
	M.C.P	0,2348	1,0279	0,9906	0,1306
	I.S.P/T	0,3830	0,6738	0,9817	0,1627
	I.S.P.	0,2539	0,7186	0,9883	0,1472
	M.S.P/T	0,4169	0,8341	0,9843	0,1486
	M.S.P	0,3470	0,6957	0,9868	0,1449

Modelo	Tratamento	Parâmetro				R^2	DQM
		A	B	C	D		
Henderson	I.C.P/T	0,6934	0,2878	0,3492	0,0468	0,9866	0,1688
	I.C.P	0,7008	0,3140	0,3445	0,0549	0,9911	0,1352
	M.C.P/T	0,5014	0,2456	0,5014	0,2456	0,9891	0,1313
	M.C.P	0,5082	0,2490	0,5082	0,2490	0,9908	0,1352
	I.S.P/T	0,4909	0,2398	0,4909	0,2398	0,9709	0,2045
	I.S.P.	0,4609	0,0633	0,5605	0,3855	0,9931	0,1128
	M.S.P/T	0,5003	0,3511	0,5003	0,3511	0,9831	0,1515
	M.S.P	0,2835	0,0554	0,7375	0,4219	0,9950	0,0975

Modelo	Tratamento	Parâmetro		R^2	DQM
		a	K		
Henderson & Pabis	I.C.P/T	0,9825	0,1348	0,9705	0,1688
	I.C.P	0,9918	0,1545	0,9783	0,2038
	M.C.P/T	1,0028	0,2456	0,9891	0,1313
	M.C.P	1,0165	0,2490	0,9908	0,1352
	I.S.P/T	0,9819	0,2398	0,9709	0,2045
	I.S.P.	0,9727	0,2241	0,9820	0,1128
	M.S.P/T	1,0005	0,3511	0,9832	0,1515
	M.S.P	0,9814	0,3280	0,9871	0,0975

Modelo	Tratamento	Parâmetro			R^2	DQM
		a	K	C		
Logarítmico	I.C.P/T	0,9230	0,1955	0,1036	0,9826	0,2323
	I.C.P	0,9412	0,2081	0,0853	0,9873	0,1664
	M.C.P/T	0,9664	0,2875	0,0514	0,9942	0,1082
	M.C.P	0,9861	0,2817	0,0420	0,9940	0,1154
	I.S.P/T	0,9222	0,3349	0,0916	0,9897	0,1227
	I.S.P.	0,9257	0,2903	0,0723	0,9924	0,1658
	M.S.P/T	0,9535	0,4344	0,0637	0,9940	0,1006
	M.S.P	0,9408	0,4027	0,0578	0,9956	0,1394

Nas Figuras 4.35, 4.36, 4.37 e 4.38 são apresentados os pontos experimentais da secagem das amêndoas ICP, ISP, MCP e MSP, com suas respectivas testemunhas (T), utilizando-se os secadores de uso diurno e ACSN. Também são apresentadas curvas originadas de ajustes lineares aos dados experimentais em três trechos, sendo o primeiro a secagem no secador diurno, o segundo no secador ACSN e testemunha e o terceiro novamente no secador diurno.

Observam-se, nas primeiras 10 horas de secagem, transcorridas no período diurno, um rápido decréscimo na razão de água das amostras e um padrão semelhante para os quatro tipos de amostra (ICP, ISP, MCP e MSP). As secagens no período (primeiras oito horas de secagem) ocasionaram, na maioria dos casos, reduções na razão de água em valores abaixo de 0,3; no período de 10 a 22 horas, quando transcorre a secagem no período noturno, notam-se reduções de água mais rápidas nas amostras colocadas do secador ACSN em relação à testemunha, sendo que na amostra ISP esta diferença se apresenta mais notável, com o coeficiente angular da curva de secagem no secador ACSN 5,6 vezes maior que o coeficiente da curva de secagem da testemunha; além disso, no período noturno as amostras testemunhas chegaram a ganhar umidade; das 22 horas em diante, quando recomeçou a secagem diurna, as umidades iniciais em base úmida tiveram uma variação de 51% a 49% nas amostras ICP, ISP, MCP e MSP.

MWITHIGA & KIGO (2005), em um secador utilizando energia solar para a secagem de café, conseguiram reduzir a umidade do grão de 54,8% para umidades inferiores a 13% (bu) em 2 dias, ao invés dos 5 a 7 dias utilizados na secagem direta ao sol. No presente trabalho a utilização de secadores de uso diurno e de uso noturno proporcionou uma secagem em que todas as amostras apresentaram uma umidade final mínima com valores inferiores a 13% (bu) em cerca de 36 horas de secagem. A secagem das amostras MCP com os secadores de uso diurno e de uso noturno resultou em uma umidade de 13% ao final de 22 horas. THORUWA et al. (1996) construíram um secador solar de baixo custo em que, durante o dia, a secagem ocorria com circulação do ar aquecido pelo sol, dentro do coletor solar, utilizando-se um acumulador de calor à base de sacos contendo bentonita e cloreto de cálcio, absorvendo o calor durante o dia e sendo utilizado no período noturno com circulação de ar forçada, conseguindo desidratar 90 kg de milho com umidade inicial de 38% para 15% (bu) em 24 horas.

EL-BELTAGY et al. (2007), utilizando um secador solar de aquecimento indireto, o qual atingiu uma temperatura máxima do ar de secagem de 46,8 °C, desidrataram morangos inteiros, em metades, em quartos e em discos, nos tempos de 28, 26, 20 e 24

horas de secagem, obtendo as umidades finais respectivas de 18,5%, 13,1%, 11,5% e 11,3%.

CAMPOS et al. (2004), construíram um secador de camada fixa para grãos a lenha, tendo sido usado na desidratação de café na temperatura de 43 °C e fluxo de ar de 21 m³ min⁻¹ m⁻², reduzindo o teor de umidade do produto de 43,1% para 12,7% em base úmida, no tempo de 42 horas.

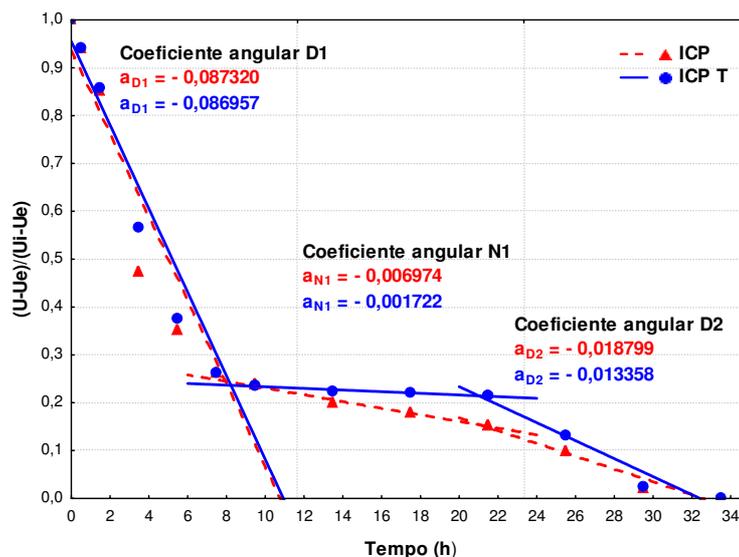


Figura 4.35 - Curvas de secagem das amêndoas ICP nos secadores de uso diurno, ACSN e a testemunha

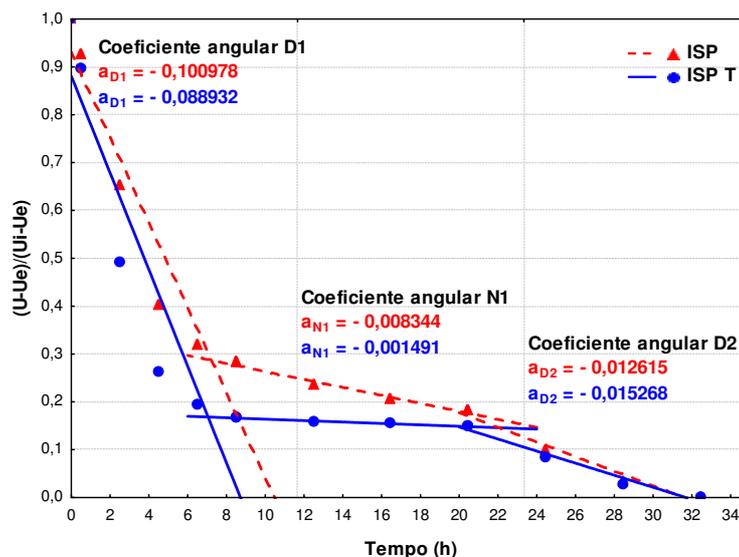


Figura 4.36 - Curvas de secagem das amêndoas ISP nos secadores de uso diurno, ACSN e a testemunha

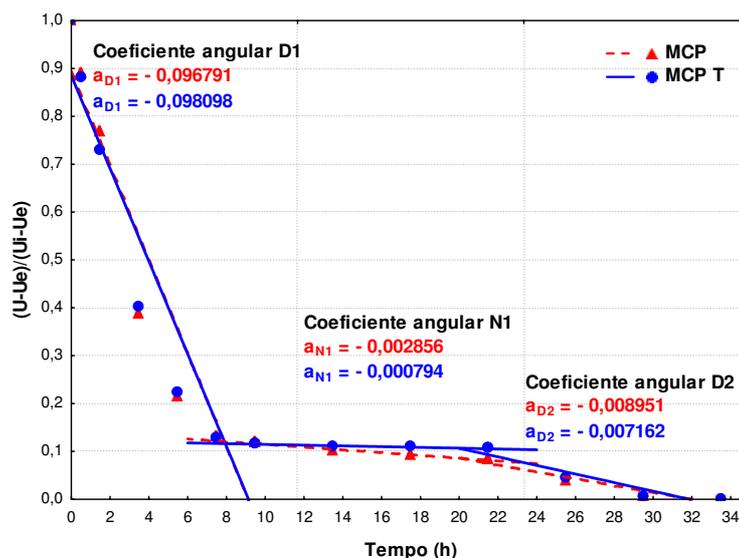


Figura 4.37 - Curvas de secagem das amêndoas MCP nos secadores de uso diurno, ACSN e a testemunha

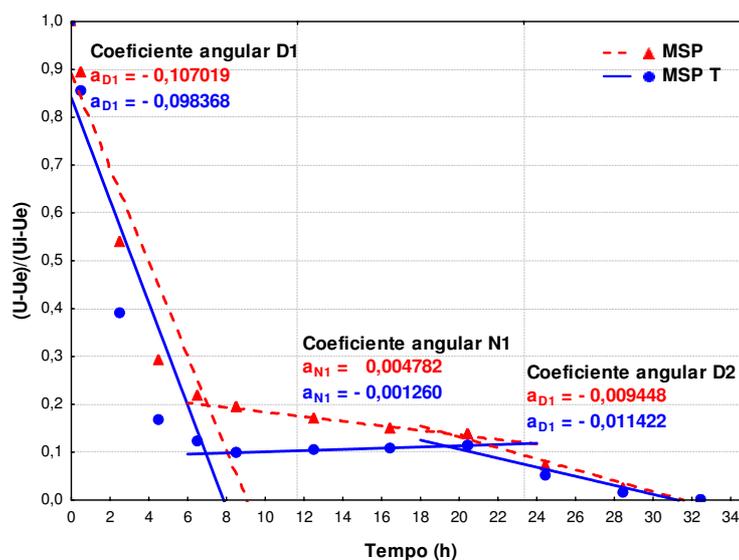


Figura 4.38 - Curvas de secagem das amêndoas MSP nos secadores de uso diurno, ACSN e a testemunha

4.1.3 - Comparação das secagens solar e em estufa das amêndoas de jaca

4.1.3.1 - Secagem com secador ACSN e sol direto comparada com secagem em estufa

Nas Figuras 4.39, 4.40, 4.41 e 4.42 estão representadas as curvas de secagem das amêndoas de jaca, com ajuste pelo modelo logarítmico, para as amostras ICP, ISP, MCP e MSP secas no secador ACSN combinado com exposição direta ao sol e em estufa, nas

temperaturas de 40 e 50 °C. Na secagem solar, o período de secagem noturno vai do tempo 0 até o tempo 12 horas (início da secagem) e das 24 às 36 horas no último dia, enquanto a secagem no período diurno vai das 12 até as 24 horas; observa-se, nas quatro figuras o melhor desempenho das secagens em estufa durante as primeiras horas de ensaio, correspondendo ao período noturno; acima de 15 horas, com as amostras expostas ao sol, a razão de água das amostras em secagem solar se equipara às amostras em estufa, assim permanecendo até o final das secagens, inclusive após o início de um novo período de secagem noturna.

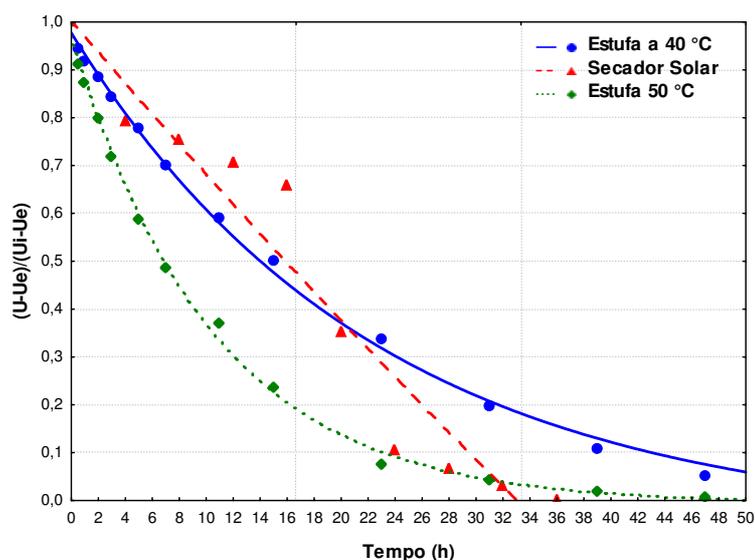


Figura 4.39 - Comparação da secagem das amêndoas ICP no secador ACSN, combinada com sol direto e na estufa, a 40 e 50 °C

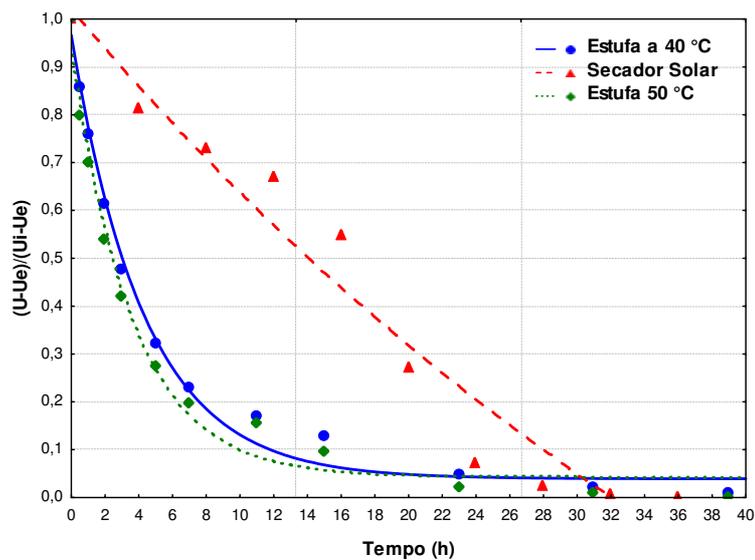


Figura 4.40 - Comparação da secagem das amêndoas ISP no secador ACSN, combinada com sol direto e na estufa, a 40 e 50 °C

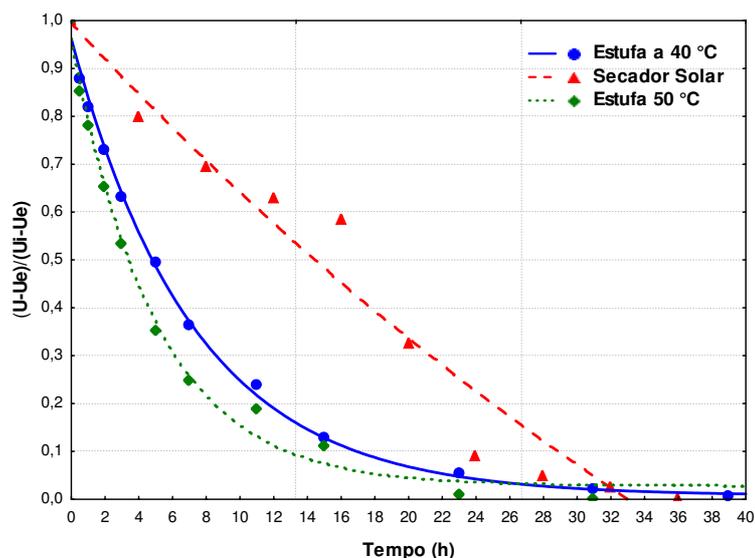


Figura 4.41 - Comparação da secagem das amêndoas MCP no secador ACSN, combinada com sol direto e na estufa, a 40 e 50 °C

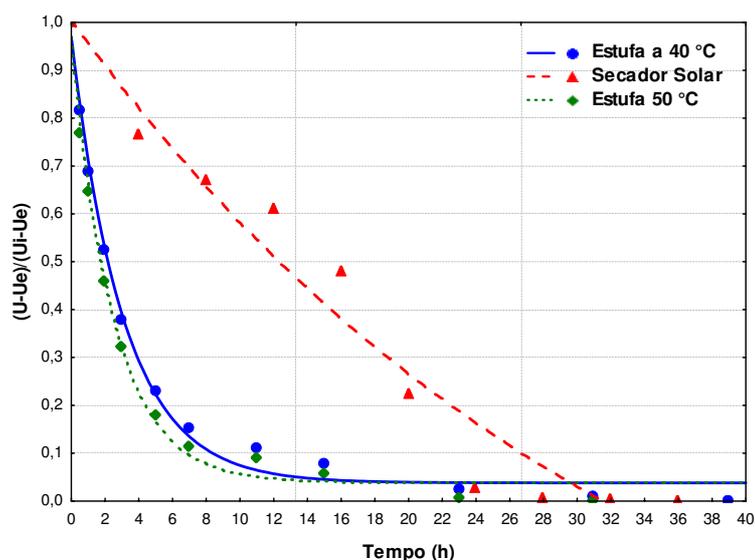


Figura 4.42 - Comparação da secagem das amêndoas MSP no secador ACSN, combinada com sol direto e na estufa, a 40 e 50 °C

4.1.3.2 – Secagem com secador solar durante o dia, comparada com secagem em estufa

Nas Figuras 4.43, 4.44, 4.45 e 4.46 estão representadas as curvas de secagem das amêndoas de jaca, com ajuste pelo modelo logarítmico, para as amostras ICP, ISP, MCP e MSP, secas no secador de uso diurno combinado com ambiente abrigado à noite e em

estufa nas temperaturas de 40, 50, 69 e 70 °C. A escolha das temperaturas de secagem em estufa teve como justificativa a comparação da secagem solar com as secagens em estufa que tivessem o desempenho mais aproximado. Observa-se, nas figuras que as secagens solares sofrem grande variação no desempenho aproximando-se algumas vezes, das secagens em estufa a 60 e 70 °C e, outras vezes, das secagens a 40 e 50 °C, o que é uma característica da secagem natural, afetada pelas condições do tempo. As amostras do secador diurno sofreram a desvantagem de absorver umidade no período noturno.

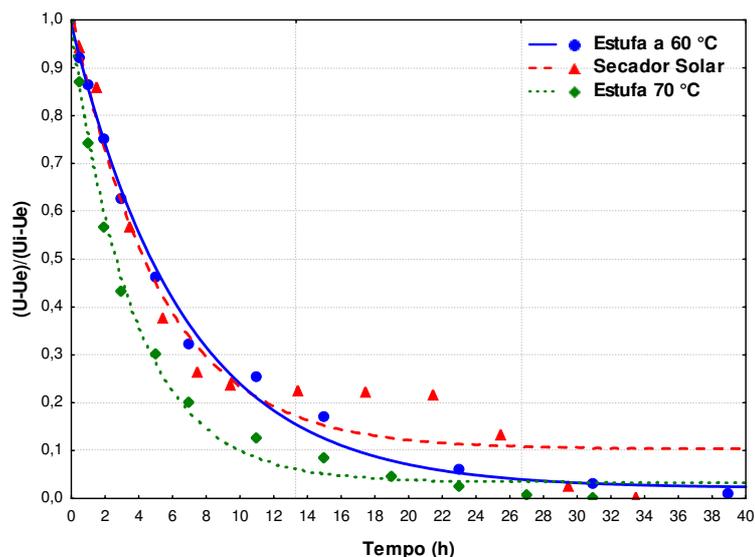


Figura 4.43 - Comparação das secagens em secador solar e em estufa, das amêndoas ICP

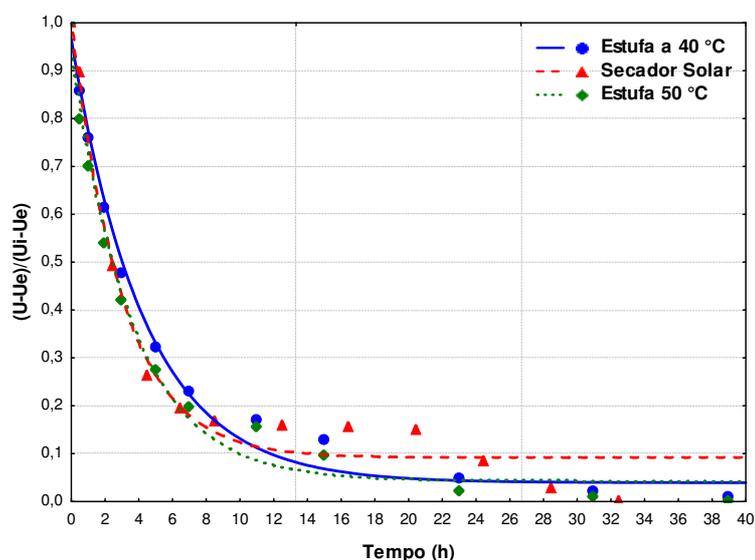


Figura 4.44 - Comparação das secagens em secador solar e em estufa, das amêndoas ISP

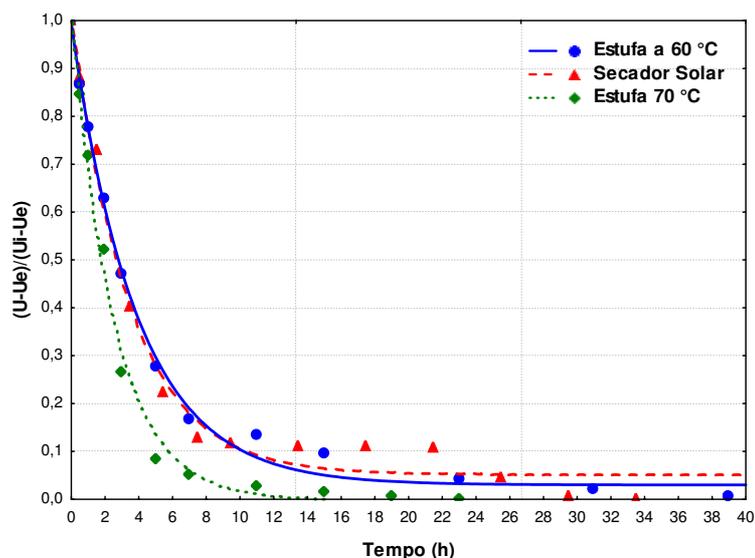


Figura 4.45 - Comparação das secagens em secador solar e em estufa, das amêndoas MCP

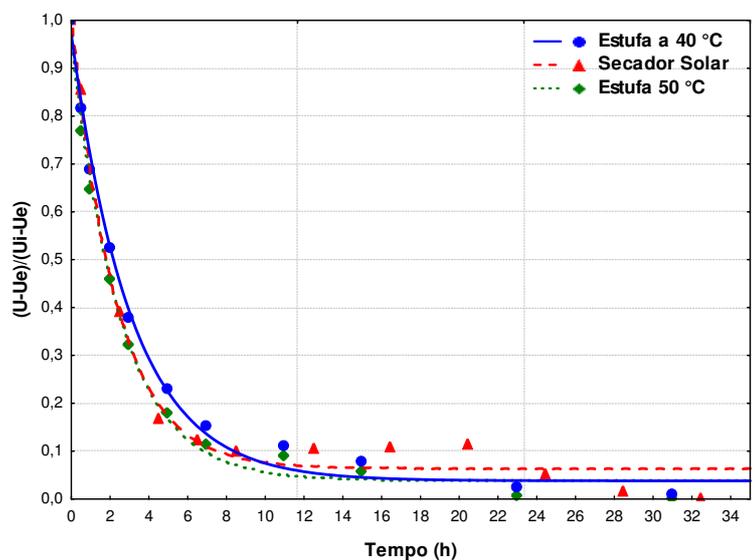


Figura 4.46 - Comparação das secagens em secador solar e em estufa, das amêndoas MSP

4.1.3.3 – Secagem com secador ACSN combinado com secador solar de uso diurno, comparada com secagem em estufa

Nas Figuras 4.47, 4.48, 4.49 e 4.50 estão representadas as curvas de secagem, com ajuste pelo modelo logarítmico, para as amostras ICP, ISP, MCP e MSP, secas no secador ACSN combinado com o secador de uso diurno e em estufa, nas temperaturas de 40 a 70 °C, temperaturas que foram escolhidas por apresentar desempenho de secagem aproximado ao das secagens utilizando-se energia solar. Observa-se que a secagem solar se equipara à

secagem artificial no período diurno e que a utilização do secador ACSN impediu a absorção de água pelas amostras durante a noite.

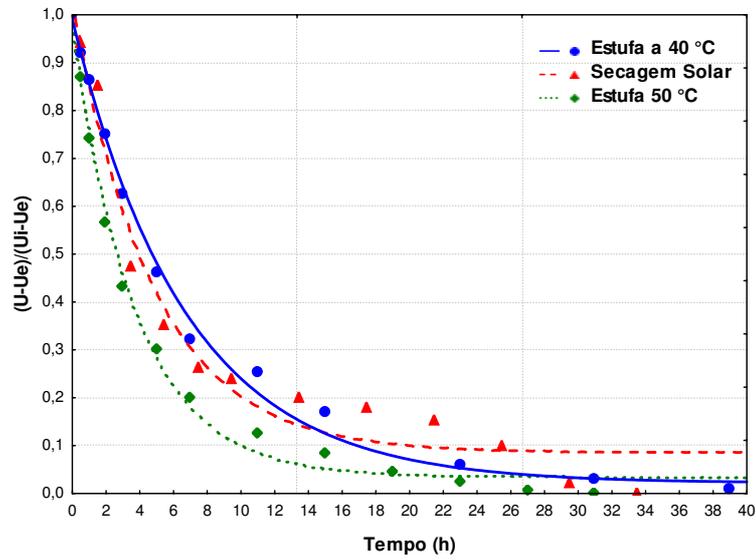


Figura 4.47 - Curvas de secagem das amêndoas ICP com energia solar e em estufa, a 40 e 50 °C

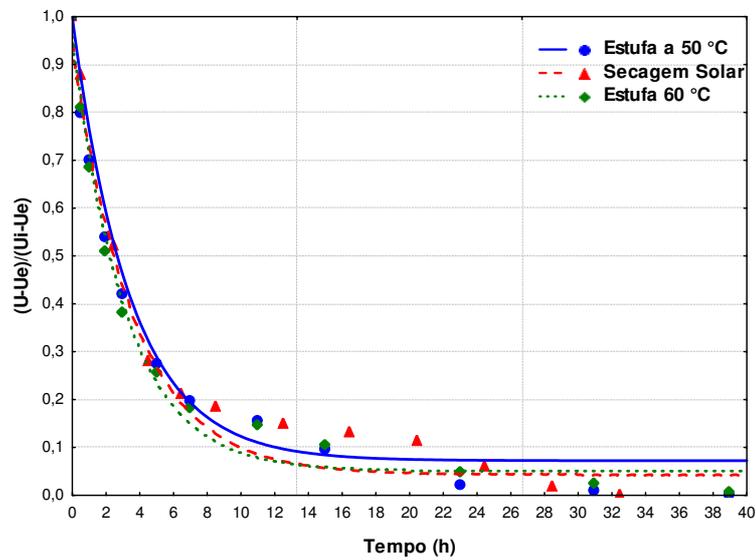


Figura 4.48 - Curvas de secagem das amêndoas ISP com energia solar e em estufa, a 50 e 60 °C

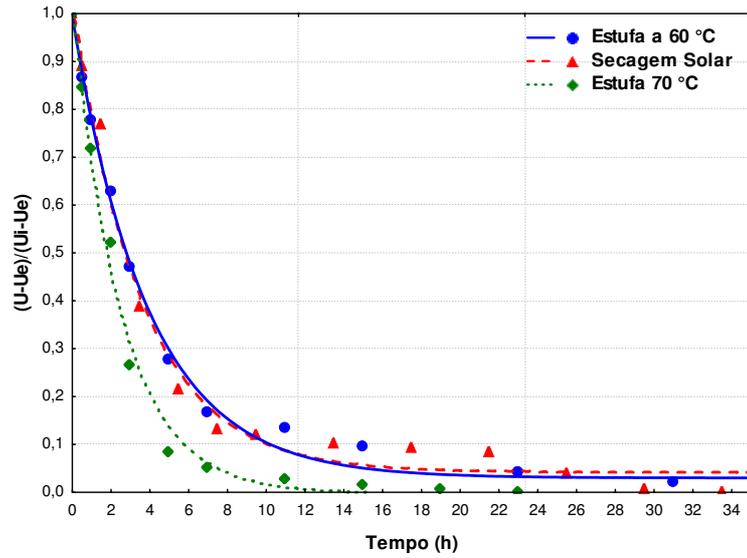


Figura 4.49 - Curvas de secagem das amêndoas MCP com energia solar e em estufa, a 60 e 70 °C

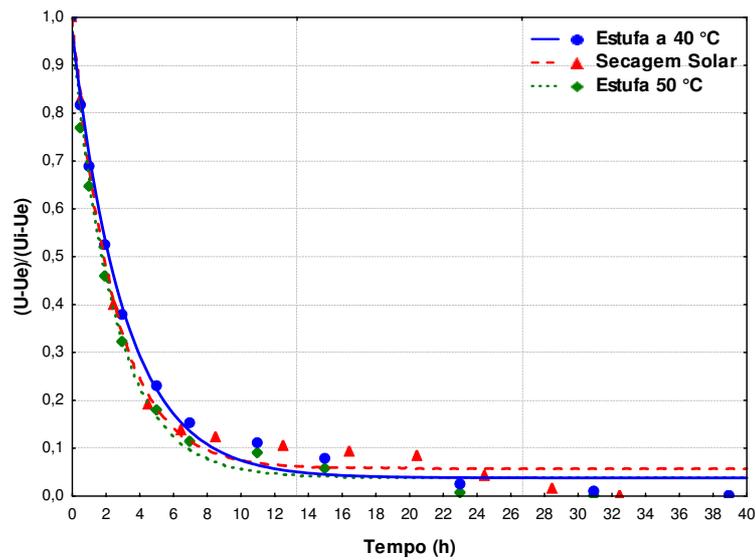


Figura 4.50 - Curvas de secagem das amêndoas MSP com energia solar e em estufa, a 40 e 50 °C

5 - CONCLUSÕES

As amêndoas de jaca foram secas em tempos que variaram de 23 a 79 horas em estufa e de 32,5 a 36 horas nos secadores solares.

A utilização do secador noturno reduziu o teor de água em base úmida das amostras em tempos mais curtos que a testemunha; o secador noturno evitou a absorção de água pelas amostras durante a noite.

A secagem utilizando-se os secadores solares apresentou desempenho semelhante ao da secagem artificial em temperaturas variáveis de 40 a 70 °C.

Os modelos de Page, logarítmico e Henderson, predisseram satisfatoriamente o comportamento de secagem das amêndoas de jaca.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABALONE, R.; GASTÓN, A.; CASSINERA, A.; LARA, M. A. Thin layer drying of amaranth seeds. **Biosystems Engineering**, London, v. 93, n. 2, p. 179–188, 2006.

ABE, T; AFZAL, T. M. Thin-layer infrared radiation drying of rough rice **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 67, p. 289–297, 1997.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 349-353, 1999.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Efeitos imediato e latente da secagem de sementes de feijão colhidas com diferentes níveis de umidade. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 24, p. 33-40, 2000.

AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**. ITAL: Manual técnico, 2002. 205 p.

AHRENS, D. C.; LOLLATO, M. A. Secagens ao sol e artificial de sementes de feijão: curvas de secagem e efeitos sobre a qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 22-27. 1997.

AHRENS, D. C.; PESKE, S. T. Declínio da qualidade fisiológica da semente de soja em função do retardamento de colheita. **Informativo ABRATES**, Brasília, v. 3, n. 3, p. 1-24, 1993.

AHRENS, D. C.; PESKE, S. T. Flutuações de umidade e qualidade de semente de soja após a maturação fisiológica: II - Avaliação da qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 16, n. 2, p. 111-115, 1994.

AHRENS, D. C.; PESKE, S. T. Influência da umidade ambiental sobre o teor de água e a qualidade fisiológica da semente de soja. **Informativo ABRATES**, Londrina. v. 3, n. 4, p. 40-45, 1993.

AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 59, n. 1, p. 99-104, 2003.

ALVES, W. M.; FARONI, L. R. D.; QUEIROZ, D. M.; CORRÊA, P. C.; GALVÃO, J. C. C. Qualidade dos grãos de milho em função da umidade de colheita e da temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 469-474, 2001.

ANDRADE, C. M. G. ; LUZ, G. R. ; JORGE, L M M ; PARAÍSO, P. R. . Determinação do coeficiente de transferência da massa na secagem do farelo de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 32., 2006, Maringá. **Anais...** Maringá: DEQ/UEM, 2006. v. 1. p. 115-115.

ARINZE, E. A.; SOKHANSANJ, S.; SCHOENAU, G. J.; ELLIS, V. Design and experimental evaluation of a new commercial-type mobile solar grain dryer provided with high efficiency fined-plate collector. **Renewable Energy**, v. 9, n. 1-4, p. 670-675, 1996.

ATHIÉ, I.; CASTRO, M. F. P. M.; GOMES, R. A. R.; VALENTINI, S. R. T. **Conservação de grãos**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 236p.

ATTANASIO, G.; CINQUANTA, L.; ALBANESE, D.; MATTEO, M. D. Effects of drying temperatures on physico-chemical properties of dried and rehydrated chestnuts (*Castanea sativa*). **Food Chemistry**, v. 88, n. 4, p. 583-590, 2004.

AZZOUZ, S.; GUIZANI, A.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetics equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 55, n. 4, p. 323-330, 2002.

AZZOUZ, S.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Drying kinetic equation of single layer of grapes. In: INTERNACIONAL DRYING SYMPOSIUM, 11., 1998, Halkidiki, Greece. **Proceedings...** Greece: A. S. Mujumdar, 1998. v. B., p. 988-997.

BASUNIA, M. A.; ABE, T. Thin-layer re-wetting of rough rice at low and high temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v. 41, n. 2, p. 163-173, 2005.

BASUNIA, M. A.; ABE, T. Thin-layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection. **Journal of Food Engineering**, oxford, v. 47, n. 4, p. 295-301, 2001.

BENEDETTI, B. C. **Influência do teor de umidade sobre propriedades físicas de vários grãos**. 1987. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BEZERRA, A. M. **Aplicações térmicas da energia solar**. 4 ed. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2001. 243p.

BRAGA, C. A. da. S.; MOREIRA, C. A.; PECHE FILHO, A.; BERNARDI, J. A.; MELLO, R. da. C.; STORINO, M.; LINO, A. C. L. Desenvolvimento e avaliação de um secador solar para grãos, associado a silo subterrâneo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 666-670, 2005.

BRAGA, M. E. D.; GOMES, J. P.; QUEIROZ, A. J. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; MARQUES, M. J. N. Curvas de secagem de milho branco BR-451 em camada fina. **Boletim Técnico do Núcleo de Tecnologia em Armazenagem**, Campina Grande, n. 11, p.1-26, 1994.

BRASIL, I. M.; GUIMARÃES, A. C. L. **Química e bioquímica do processamento**. Brasília: ABEAS, 1998. (Curso de Tecnologia em Processamento de Suco e Polpa Tropicais - Módulo 5).

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365 p.

BROD, F. P. R. **Avaliação de um secador vibro-fluidizado**. 2003. 336 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying cereal grains**. 3ed. Westport: AVI Publishing, 1981. 256 p.

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

CALOMENI, J. F.; ANDRADE, E. T.; CORRÊA, P. C. Cinética de secagem de sementes de feijão colhidas em diferentes teores de água. In: SEMINÁRIO FLUMINENSE DE ENGENHARIA, 4., 2005, Niterói. **Anais...** Niterói: UFF, 2005. v. 1. p. 1-6.

CAMPOS, A. T.; MELO, E. C.; SILVA, J. S. Análise energética de secador de grãos a lenha. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: NIPE/SBEA/UNICAMP, 2004. v. 1. p. 1-10.

CARMO, J. E. F. **Fenômenos de difusão transiente em sólidos esferoidais: estudo de caso - secagem de lentilhas**. 2004. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

CARNEIRO, L. M. T. A. **Antecipação da colheita, secagem e armazenagem na manutenção da qualidade de grãos e sementes de trigo comum e duro**. 2003. 109 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CARNEIRO, L. M. T. A.; BIAGI, J. D.; FREITAS, J. G.; CARNEIRO, M. C.; FELÍCIO, J. C. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 127-137, 2005.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1979. 424 p.

CASTELLANE, P. D.; NICOLosi, W. M.; HASEGAWA, M. **Produção de sementes de hortaliças**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 261p.

CASTRO, L. H. **Efeito do despulpamento, em secador de leite fixo sob alta temperatura, no consumo de energia e na qualidade do café (*Coffea arábica* L.)**. 1991. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Efeito da secagem em altas temperaturas por curtos períodos de tempo em camada estacionária, sobre a armazenagem de sementes de feijão (*Phaseolus vulgares* L.) variedade “carioca”**. 1997b. 344 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Secagem em nível de produtor. In: HARA, T.; ALMEIDA, F. de. A. C.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. (Org.). **Armazenamento de grãos e sementes nas propriedades rurais**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997a. cap.2, p. 52-133.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; GURJÃO, K. C. O. Utilização do forno microondas para determinação do teor de umidade de grãos de feijão e soja. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 22, n.2, p. 34-40, 1997.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; OLIVEIRA, M. R. T. de. Estudo das curvas de secagem do feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.) em camada fina. **Boletim Técnico - do Núcleo de Tecnologia em Armazenagem**, Campina Grande, n. 4, p. 1-33, 1989.

CHAUHAN, P. M.; CHOUDHURY, C.; GARG, H. P. Comparative performance of coriander dryer coupled to solar air heater and solar-air-heater-cum-rock bed storage. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 16, n. 6, p. 475-486, 1996.

CHEN, C.; WU, P. Thin layer drying model for rough rice with high moisture content, **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 80, n. 1, p. 45-52, 2001.

CORNEJO, F. E. P. **Construção e avaliação de um secador com promotores estacionários de mistura**. 1997. 253 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CORREA, P. C. **Simulação de secagem de café em camada espessa**. 1982. 47 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. de. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

COSTA, T. L.; MARQUES, L. F.; PAIXÃO, F. J. da.; PEREIRA, I. E.; PEREIRA, T. D. cinética de secagem da jaca. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA DE FRUTOS TROPICAIS, 1., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Embrapa/UFPB/UFS/SBF, 2005. CD-ROM.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975. 414 p.

DALBELLO, O. **Eficiência do processo de secagem de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e milho-pipoca (*Zea mays* L.)**. 1995. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

DAUDIN, J. D. Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides. **Sciences des Aliments**, v. 3, n. 1, p.1-36. 1983.

DOYMAZ, I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 359–364, 2004a.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 69, n. 2, p. 161-165, 2005.

DOYMAZ, I. Drying kinetics of white mulberry. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 61, n. 3, p. 341-346, 2004b.

DOYMAZ, I. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 79, n. 1, p. 243-248, 2007.

DOYMAZ, I.; PALA, M. Hot-air drying characteristics of red pepper. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 55, n. 4, p. 331-335, 2002.

DOYMAZ, I.; PALA, M. The thin-layer drying characteristics of corn. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 125-130, 2003.

EL-BELTAGY, A.; GAMEA, G. R.; ESSA, A. H. A. Solar drying characteristics of strawberry. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 2, p. 456-464, 2007.

FARIAS, R. P. de. **Simulação da secagem de produtos biológicos em secador de fluxos cruzados**. 2003. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

FARIAS, S. do. N. **Secagem de sólidos esferoidais usando o método de Gallerkin**. 2002. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

FARONI, L. R. A.; CORDEIRO, I. C.; ALENCAR, E. R.; ROZADO, A. F.; ALVES, W. M. Influência do conteúdo de umidade de colheita e temperatura de secagem na qualidade do feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 148-154, 2006.

FARONI, L. R. D.; SINÍCIO, R.; ROA, G. Comparação de três sistemas de secagem e armazenamento de milho em fazenda. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 7, n. 2, p. 42-51, 1982.

FERREIRA, M. M. P. **Desenvolvimento, caracterização e secagem de sementes com cobertura artificial**. 2004. 235 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

FORTES, M.; OKOS, M. R. Drying theories: their bases and limitations as applied to foods and grains. In: MUJUNDAR, A. S. **Advances in drying**. New York: Science Press, v. 1, p. 119-154, 1980.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1997. 307 p.

GIRALDO-ZUÑIGA, A. D.; ARÉVALO-PINEDO, A.; RODRIGUES, R. M.; LIMA, C. S. S.; FEITOSA, A. C. Kinetic drying experimental data and mathematical model for jackfruit (*Artocarpus integrifolia*) slices. **Ciência y Tecnología Alimentaria**, Reynosa, v. 5, n. 2, p. 89-92, 2006.

GIRALDO-ZUÑIGA, A. D.; PINEDO, A. A.; RODRIGUES, R. M. The air drying behavior of osmotically dehydrated for jackfruit (*Artocarpus integrifolia*) slices. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS 2004), 14., 2004, São Paulo, Brasil. **Proceedings...** São Paulo: UNICAMP, 2004b. v. C, p. 2120-2126.

GIRALDO-ZUÑIGA, A. D.; PINEDO, A. A.; RODRIGUES, R. M.; LIMA, C. S. S.; FEITOSA, A. C. Drying curves and water activity evaluation for sliced jackfruit (*Artocarpus Integrifolia*). In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS 2004), 14., 2004, São Paulo, Brasil. **Proceedings...** São Paulo: UNICAMP, 2004a. v. C, p. 1776-1783.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 135-140, 2007.

GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; MURR, F. E. X. Estudo da difusividade e do encolhimento do gengibre durante a secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 51-58, 1999.

GOYAL, R. K.; KINGSLY, A. R. P.; MANIKANTAN, M. R.; ILYAS, S. M Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. **Biosystems Engineering**, v. 95, n.1, p. 43–49, 2006.

GOYAL, R. K.; KINGSLY, A. R. P.; MANIKANTAN, M. R.; ILYAS, S. M. Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 79, n. 1, p. 176-180, 2007.

GUEDES, A. M. M.; FARIAS, L. J. G. Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana l.*) em secador convectivo de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 73-86, 2000.

GUIDA, V. F. A. A. **Influência da temperatura, fluxo do ar e altura da camada de grãos na secagem do café (*Coffea arábica L.*) despulpado em secador experimental de camada fixa.** 1994. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

GUIDA, V. F. A. A.; VILELA, E. R. Influência do fluxo de ar e do período de descanso na secagem do café (*Coffea arabica L.*) despulpado em secador experimental de camada fixa. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 232-237, 1996.

GUNHAN, T.; DEMIR, V.; HANCIOGLU, E; HEPBASLI, A. Mathematical modelling of drying of bay leaves. **Energy Conversion & Management**, v. 46, n. 11-12, p. 1667-1679. 2005.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin-layer drying equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 17, n. 2, p. 1167-1168/1172, 1974.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory: I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

IGBEKA, J. C. Simulation of moisture movement during drying a starchy food product-cassava. **Journal of Food Technology**, London, v.17, n.1, p.27-36, 1982.

KALEEMULLAH, S.; KAILAPPAN, R. Modelling of thin-layer drying kinetics of red chillies. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 4, p. 531-537, 2006.

KARATHANOS, V. T.; BELESSIOTIS, V. G. Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, n. 4, p. 355-361, 1999.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

KINGSLEY, A. R. P.; SINGH, D. B. Drying kinetics of pomegranate arils. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 79, n. 2, p. 741-744, 2007.

KOYUNCU, T. An Investigation on the performance Improvement of greenhouse-type agricultural dryers. **Renewable Energy**, v. 31, n. 7, p.1055–1071, 2006.

KOYUNCU, T.; SERDAR, U.; TOSUN, I. Drying characteristics and energy requirement for dehydration of chestnuts (*Castanea sativa Mill.*). **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 62, n. 2, p. 165-168, 2004.

KROKIDA, M. K.; OREOPOULOU, V.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Effect of pre-drying on quality of French fries. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 48, n. 3, p. 213-218, 2003.

LADEIRA, J. F. M.; PASSOS, M. L. A. Simulação do escoamento do fluido em leitos de jorro com tubo interno. **Ciências Exatas e da Terra**, v. 21, n. 1, p. 147-155, 2002.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **Journal of Ind. Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 427-432, 1921.

LIMA, A. G. B. **Estudo da secagem e dimensionamento de secador de casulos do bicho-da-seda.** 1995. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

LIMA, A. G. B. **Fenômeno de difusão em sólidos esferoidais prolatos: Estudo de caso: secagem de banana.** 1999. 244 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LIMA, A. G. B.; NEBRA, S. A.; QUEIROZ, M. R. Aspectos científico e tecnológico da banana. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 87-101, 2000.

LUIKOV, A. V.; MIKHAYLOV, Y. A. **Theory of energy and mass transfer.** Oxford: Pergamon Press, 1965. 392 p.

LUIKOV, A.V. **Heat and mass transfer in capillary-porous bodies.** Oxford: Pergamon Press, 1966. 523 p.

MARGARIS, D. P.; GHIAUS, A. G. Experimental study of hot air dehydration of Sultana grapes. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1115–1121, 2007.

MARIZ, T. F. **Secagem da casca de caroço de algodão em leito fixo.** 1986. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. de. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 301–306, 2007.

MARTINS, R. R.; FRANCO, J. B. R.; OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologia de secagem de grãos.** Passo Fundo: Embrapa Trigo/EMATER/RS, 1999. 90 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 8).

MARTINS, R. R.; FRANCO, J. B. R.; OLIVEIRA, P. A. V.; GOMES, J. R. S.; FRANZOZI, C. D. P. Secador de grãos com energia solar. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 29-35, 2002.

MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; LANNES, S. C. S. Comportamento higroscópico de derivados do cupuaçu e do cacau. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBCTA, 2002. CD.

MENGES, H. O.; ERTEKIN, C. Thin layer drying model for treated and untreated Stanley plums. **Energy Conversion and Management**, v. 47, n. 15-16, p. 2337–2348, 2006.

MIRANDA, L. C.; SILVA, W. R.; CAVARIANI, C. Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar: I. Monitoramento físico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2097-2108, 1999.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513–518, 2005.

MORAES NETO, J. M.; CIRNE, L. E. M. R.; PEDROZA, J. P.; SILVA, M. G. Componentes químicos da farinha de banana (*musa sp.*) obtida por meio de secagem natural. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 316-318, 1998.

MOZAMBANI, A. E.; SADER, R.; PINTO, L. R. Maturação fisiológica e retardamento de colheita de sementes de crotalária. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 55-62. 1993.

MULET, A.; BERNA, A.; ROSSELO, C. Drying of carrots: drying models. **Drying Technology**, New York, v. 7, n. 3, p. 537-557, 1989.

MWITHIGA, G.; KIGO, S. N. Performance of a solar dryer with limited sun tracking capability. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 2, p. 247-252, 2006.

MWITHIGA, G.; OLWAL, J. O. The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 4, p. 373–378, 2005.

NASCIMENTO, J. do. **Estudo da cinética de secagem de banana (*Musa acuminata* L.)**. 2002. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

NEVES, E. das.; 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**, v. 27, n. 2, p.117-124, 2005.

NEVES, M. J. B. **Processo de seca-aeração**. 1982. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NIJMEH, M. N.; RAGAB, A. S.; EMEISH, M. S.; JUBRAN, B. A. Design and testing of solar dryers for processing food wastes. **Applied Thermal Engineering**, v. 18, n. 12, p. 1337-1346, 1998.

NISHIYAMA, Y.; CAO, W.; LI, B. Grain intermittent drying characteristics analyzed by a simplified model. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 3, p. 272–279, 2006.

NITZ, M.; TARANTO, O. P. Drying of beans in a pulsed fluid bed dryer: drying kinetics, fluid-dynamic study and comparisons with conventional fluidization. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 80, n. 1, p. 249-256, 2007.

NSONZI, F.; RAMASWAMY, H. S. Convective-air drying kinetics of osmotically pré-treated blueberries. **Drying Technology**, New York, v. 163, n. 3-5, p. 743-759, 1998.

OCTAVIANI, J. C. **Avaliação de secadores horizontais rotativos com utilização de lenha e gás liquefeito de petróleo em secagem de café cereja descascado desmucilado**. 2005. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

OCTAVIANI, J. C. **Secagem de café cereja descascado desmucilado com utilização de gás liquefeito de petróleo**. 2000. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ODOEMELAM, S. A. Functional properties of raw and heat processed jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) flour. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 4, n. 6, p. 366-370, 2005.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. B. de. **Estudo da transferência de calor e massa no processo de secagem em leito vibro-fluidizado**. 2003. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

OLIVEIRA, M. E. B.; BASTOS, M. S. R.; FEITOSA, T. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-química de polpa congelada de acerola, cajá e caju. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 326-332, 1999.

OLIVEIRA, V. A. B. **Difusão em sólidos esferoidais prolatos: uma solução analítica**. 2001. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ÖZDEMİR, M.; DEVRES, Y. O. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.42, n.4, p. 225-233, 1999.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin-layer**. 1949. Dissertation (M.Sc.) - Purdue University, Indiana, USA, 1949.

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 349–357, 2002.

PARK, K. J.; GODOI, L. F. G.; ALONSO, L. F. T.; CORRÊA JÚNIOR, W. A. Drying behavior parameters in a continuous vertical annular static mixer dryers. In: INTER-AMERICAN DRYING CONFERENCE (IADC), 1., 1997. Itu. **Proceedings...** Itu: IADC, 1997. v. A, p. 204-209.

PARK, K. J.; TUBONIZ, C. T.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Estudo da secagem de caqui giombo com encolhimento e sem encolhimento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 71-86, 2004.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra Bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PARTI, M.; DUGMANS, I. Diffusion coefficient for corn drying. **Transactions of ASEA**, v. 33, n. 5, p. 1652-1656, 1990.

POPINIGIS, F. **Fisiologia de sementes**. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289 p.

PRADO, M. E. T. **Secagem de tâmaras (*Phoenix dactylifera* L.) para obtenção de tâmara passa**. 1998. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PRADO, M. M. **Secagem em leito fixo de semente com mucilagem**. 2004. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603p.

QUEIROZ, M. R. **Estudo teórico experimental da secagem de bananas**, 1994. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

QUEIROZ, M. R.; NEBRA, S. A. Soluções analíticas e numéricas do modelo de difusão à secagem de bananas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 1, p. 74-83, 1997.

RAHMAN, M. A.; NAHAR, N.; MIAN, A. J.; MOSIHUZZAMAN, M. Variation of carbohydrate composition of two forms of fruit from jack tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with maturity and climatic conditions. **Food Chemistry**, v. 65, n. 1, p. 91-97, 1999.

RAO, P. S.; BAL, S.; GOSWAMI, T. K. Modelling and optimization of drying variables in thin layer drying of parboiled paddy. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 78, n. 2, p. 480-487, 2007.

RATTANAPANT, O. Simulation of deepbed drying of particles. In: IDS, 6., 1988, Versailles. **Proceedings...** Versailles, p. 565-572, 1988.

REINATO, H. R.; BORÉM, F. M.; VILELA, R.; MEIRELES, P. C. Consumo de energia e custo de secagem de café cereja em propriedades agrícolas do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 112-116, 2002.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 611-617, 2005.

RODRIGUES, R. M.; OLIVEIRA, R. B.; REGES, C. M. Determinação do teor protéico da polpa e caroço de jaca (*Artocarpus integrifolia*) in natura e desidratada. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNITINS/UFT, 11., 2004, Palmas. **Anais...** Palmas: UNITINS, 2004. p. 46-46.

SACILIK, K. Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo L.*). **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 79, n. 1, p. 23-30, 2007.

SACILIK, K.; ELICIN, A. K.; UNAL, G. Drying kinetics of üryani plum in a convective hot-air dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 3, p. 362-368, 2006.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, London, v. 37, n. 5, p. 517-525, 2004.

SANTOS, B. M. **Metodologia de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar para secagem de produtos agrícolas**. 2004. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SCHIRMER, P.; JANJAI, S.; E5PER, A.; SMITABHINDU, R.; MÜHLBAUER, W. Experimental investigation of the performance of the solar tunnel dryer for drying bananas. **Renewable Energy**, v. 7, n. 2, p. 119-129, 1996.

SERENO, A. M.; MEDEIROS, G. L. Simplified model for the prediction of drying rates for foods. **Journal of Food Engineering**, Barking, v.12, n. 1, p. 1-11, 1990.

SFREDO, M. A.; FINZER, J. R. D.; LIMAVERDE, J. R. Heat and mass transfer in coffee fruits drying. **Journal of Food Engineering**, v. 70, n. 1, p. 15–25, 2005.

SILVA, J. E. **Secagem de vagens de algaroba *Prosopis juliflora* (S.W.) D.C. em laboratório e a nível de fazenda**. 1999. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SILVA, L. M. S. Jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.). In: VIEIRA NETO, R. D. **Frutíferas potenciais para os tabuleiros costeiros e baixadas litorâneas**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros/Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe, 2002. 216 p.

SILVEIRA, P. L. **Estudo da elaboração de passas da polpa, aproveitamento dos caroços e resíduos da jaca (*Artocarpus heterophyllus*)**. 2000. 77 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SIMAL, S.; FEMENIA, A.; GARAU, M. C.; ROSSELLÓ, C. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 3, p. 323-328, 2005.

SIMAL, S.; ROSSELO, C.; BERNA, A.; MULET, A. Heat and mass transfer model for potato drying. **Chemical Engineering Science**, v. 49, n. 22, p. 3739-3744, 1994.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA Jr., A.; FILHO, M. S. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo "foam-mat". **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

SOUSA, L. V. S. **Propriedades físicas de grão de girassol relacionadas à armazenagem**. 2001. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOUZA, M. L.; HOLANDA, L. F. F.; MAIA, G. A.; GASPAR JUNIOR, J.; FIGUEIREDO, R. W. Estudo do processamento e estabilidade da farinha de amêndoa da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* h.b.k.). **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 17, n.1, p. 35-42, 1986.

SOUZA, S. M. C. Secagem de café com qualidade III. **Circular Técnica da EPAMIG**. Lavras, n. 119, p. 1-4, 2000.

STENCL, J.; OTTEN, L.; GOTTHARDOVA, J.; HOMOLA, P. Model comparisons of equilibrium moisture content of prunes in the temperature range of 15–45 °C. **Journal of Stored Products Research**, v. 35, n. 1, p. 27-36, 1999.

TABATABAEE, R.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Thin-layer drying and rewetting characteristics of buckwheat. **Canadian Biosystems Engineering**, v. 46, n. 3, p. 319-324, 2004.

TARIGAN, E.; PRATEEPCHAIKUL, G.; YAMSAENGSUNG, R.; SIRICHOTE, A.; TEKASAKUL, P. Drying characteristics of unshelled kernels of candle nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 3, p. 828-823, 2007.

THORUWA, T. F. N.; SMITH, J. E.; GRANT, A. D.; JOHNSTONE, C. M. Developments in solar drying using forced ventilation and solar regenerated desiccant materials. **Renewable Energy**, v. 9, n. 1-4, p. 686-689, 1996.

TIRONI, A.; CROZZA, D. E.; PAGANO, A. M. Drying kinetics of *Carthamus tinctorius* L. seeds. In: INTERNACIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004, São Paulo. **Proceedings...** Campinas: UNICAMP, 2004. v. C., p. 1612-1619.

TOGRUL, I. T.; PEHLIVAN, D. Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 3, p. 209-216, 2002.

TOGRUL, I. T.; PEHLIVAN, D. Modelling of drying kinetics of single apricot. **Journal of Food Engineering**, v. 58, n. 1, p. 23-32, 2003.

TOLABA, M. P.; AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C. Drying of corn with tempering: simulation and experimental verification. In: INTER-AMERICAN DRYING CONFERENCE (IADC), 1., 1997. Itu. **Proceedings...** Itu: IADC, 1997. v. B, p. 516-523. v. 61, n. 3, p. 341-346, 2004b.

VEGA, A.; FITO, P.; ANDRE´S, A.; LEMUS, R. Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (*var. Lamuyo*). **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1460-1466, 2007.

VERNON-CARTER, E. J.; ESPINOSA-PAREDES, G.; BERISTAIN, C. I.; ROMERO-TEHUITZIL, H. Effect of foaming on the stability, rheological properties, drying kinetics and flavour retention of tamarind foam-mats. **Food Research International**, Barking, v.34, n. 7, p. 587-598, 2001.

VIEIRA, G.; VILELA, E. R. Secagem intermitente de café (*Coffea arabica* L.) em secador experimental de camada fixa. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 289-296, 1995.

VILLELA, F. A.; SILVA, W. R. da. Curvas de secagem de sementes de milho utilizando o método intermitente. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 49, n. 1, p. 145-153, 1992.

WANG, Z.; SUN, J.; LIAO, X.; CHEN, F.; ZHAO, G.; WU, J.; HU, X. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. **Food Research International**, v. 40, n. 1, p. 39-46, 2007.

WEBER, E.A. **Armazenagem agrícola**. Porto Alegre: Kepler Weber Industrial, 1995. 395 p.

XANTHOPOULOS, G.; OIKONOMOU, N.; LAMBRINOS, G. Applicability of a single-layer drying model to predict the drying rate of whole figs. **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 3, p. 553-559, 2007.

YALDIZ, O.; ERTEKIN, C.; IBRAHIM UZUN, H. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. **Energy**, v. 26, n. 5, p. 457-465, 2001.

YOSHIDA, C. M. P. **Cinética de secagem do milho superdoce**. 1997. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

APÊNDICE A

Leia-se:**Tm** - tempo em minutos;**Th** - tempo em horas;**Mt** - massa total;**Mw** - perda de massa de água;**PI** - peso inicial; **Ms**: massa seca;**Ubs** - umidade em base seca;**Ubw** - umidade base úmida;**RX (bw)** - razão de umidade em base úmida;**RX (bs)**- razão de umidade em base seca;**Tx** - taxa de secagem**Tabela A.1** - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca ICP em estufa a 80 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	48,70	1,35	30,53	14,51	110,3836	52,4678	1,0000	1,0000	0,0062
15	0,25	47,36	1,79	29,18	14,51	101,1027	50,2742	0,9559	0,9137	0,0082
30	0,50	45,57	1,19	27,39	14,51	88,7664	47,0245	0,8906	0,7991	0,0055
45	0,75	44,37	0,85	26,20	14,51	80,5422	44,6113	0,8421	0,7227	0,0039
60	1,00	43,53	1,69	25,35	14,51	74,7071	42,7613	0,8049	0,6684	0,0039
90	1,50	41,83	2,61	23,66	14,51	63,0370	38,6642	0,7226	0,5600	0,0030
150	2,50	39,23	1,49	21,05	14,51	45,0724	31,0689	0,5700	0,3930	0,0017
210	3,50	37,73	1,09	19,56	14,51	34,7806	25,8054	0,4642	0,2974	0,0013
270	4,50	36,64	0,88	18,46	14,51	27,2456	21,4118	0,3759	0,2274	0,0010
330	5,50	35,76	0,89	17,58	14,51	21,1578	17,4630	0,2966	0,1708	0,0005
450	7,50	34,87	0,53	16,69	14,51	15,0471	13,0791	0,2085	0,1140	0,0003
570	9,50	34,34	0,27	16,16	14,51	11,3715	10,2104	0,1508	0,0798	0,0002
690	11,50	34,06	0,25	15,89	14,51	9,4877	8,6655	0,1198	0,0623	0,0001
810	13,50	33,81	0,28	15,64	14,51	7,7648	7,2053	0,0904	0,0463	0,0001
1050	17,50	33,53	0,15	15,36	14,51	5,8351	5,5133	0,0564	0,0284	0,0000
1290	21,50	33,39	0,15	15,21	14,51	4,8243	4,6022	0,0381	0,0190	0,0000
1530	25,50	33,24	0,15	15,06	14,51	3,7905	3,6521	0,0190	0,0094	0,0000
1770	29,50	33,09	10,60	14,91	14,51	2,7797	2,7045	0-	0-	0,0000

Tabela A.2 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca ICP em estufa a 70 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	61,54	1,01	29,97	13,76	117,8338	54,0934	1,0000	1,0000	0,00491
15	0,25	60,52	0,81	28,95	13,76	110,4677	52,4868	0,9686	0,9358	0,00394
30	0,50	59,71	1,02	28,14	13,76	104,5554	51,1135	0,9417	0,8843	0,00494
45	0,75	58,69	0,75	27,12	13,76	97,1408	49,2748	0,9058	0,8197	0,00363
60	1,00	57,94	1,65	26,37	13,76	91,6889	47,8321	0,8775	0,7722	0,00399
90	1,50	56,29	2,27	24,72	13,76	79,7189	44,3576	0,8096	0,6679	0,00275
150	2,50	54,03	2,04	22,46	13,76	63,2421	38,7413	0,6997	0,5244	0,00248
210	3,50	51,98	1,51	20,41	13,76	48,3887	32,6094	0,5798	0,3950	0,00183
270	4,50	50,48	0,98	18,91	13,76	37,4364	27,2391	0,4748	0,2996	0,00118
330	5,50	49,50	1,47	17,93	13,76	30,3368	23,2757	0,3973	0,2377	0,00089
450	7,50	48,03	0,55	16,46	13,76	19,6268	16,4067	0,2629	0,1444	0,00033
570	9,50	47,48	0,47	15,91	13,76	15,6530	13,5345	0,2068	0,1098	0,00029
690	11,50	47,01	0,33	15,44	13,76	12,2123	10,8832	0,1549	0,0798	0,00020
810	13,50	46,68	0,39	15,11	13,76	9,8134	8,9365	0,1168	0,0589	0,00012
1050	17,50	46,29	0,20	14,72	13,76	6,9784	6,5232	0,0696	0,0342	0,00006
1290	21,50	46,08	0,17	14,51	13,76	5,5004	5,2136	0,0440	0,0213	0,00005
1530	25,50	45,91	0,13	14,34	13,76	4,2404	4,0679	0,0216	0,0103	0,00004
1770	29,50	45,78	0,03	14,21	13,76	3,2711	3,1675	0,0040	0,0019	0,00001
2010	33,50	45,75	0,00	14,18	13,76	3,0531	2,9626	0	0	0,00000

Tabela A.3 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca ICP em estufa a 60 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	49,25	0,73	31,07	14,56	113,4417	53,1488	1,0000	1,0000	0,00333
15	0,25	48,52	0,54	30,34	14,56	108,4497	52,0268	0,9763	0,9534	0,00246
30	0,50	47,98	0,70	29,81	14,56	104,7630	51,1631	0,9580	0,9190	0,00319
45	0,75	47,29	0,54	29,11	14,56	99,9771	49,9943	0,9332	0,8744	0,00246
60	1,00	46,75	1,50	28,57	14,56	96,2904	49,0551	0,9134	0,8400	0,00344
90	1,50	45,25	1,62	27,07	14,56	85,9629	46,2258	0,8535	0,7436	0,00186
150	2,50	43,62	1,51	25,45	14,56	74,8111	42,7954	0,7809	0,6395	0,00173
210	3,50	42,11	1,68	23,93	14,56	64,4149	39,1783	0,7043	0,5425	0,00192
270	4,50	40,43	1,05	22,26	14,56	52,8967	34,5964	0,6073	0,4350	0,00120
330	5,50	39,39	1,96	21,21	14,56	45,7064	31,3689	0,5390	0,3679	0,00112
450	7,50	37,42	1,01	19,25	14,56	32,2189	24,3679	0,3908	0,2421	0,00058
570	9,50	36,42	0,74	18,24	14,56	25,3034	20,1937	0,3025	0,1776	0,00043
690	11,50	35,67	0,56	17,50	14,56	20,1969	16,8032	0,2307	0,1299	0,00032
810	13,50	35,11	0,70	16,93	14,56	16,3270	14,0354	0,1721	0,0938	0,00020
1050	17,50	34,41	0,35	16,24	14,56	11,5411	10,3470	0,0940	0,0491	0,00010
1290	21,50	34,07	0,16	15,89	14,56	9,1596	8,3910	0,0526	0,0269	0,00004
1530	25,50	33,91	0,15	15,73	14,56	8,0834	7,4788	0,0333	0,0169	0,00004
1770	29,50	33,76	0,08	15,58	14,56	7,0300	6,5682	0,0141	0,0071	0,00002
2010	33,50	33,68	0,03	15,50	14,56	6,5033	6,1062	0,0043	0,0021	0,00001
2250	37,50	33,65	0,00	15,47	14,56	6,2743	5,9039	0	0	0,00000

Tabela A.4 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca ICP em estufa a 50 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	60,97	0,62	29,35	13,91	110,9993	52,6065	1,0000	1,0000	0,00297
15	0,25	60,35	0,36	28,73	13,91	106,5421	51,5837	0,9772	0,9566	0,00173
30	0,50	59,99	0,20	28,37	13,91	103,9540	50,9693	0,9635	0,9314	0,00094
45	0,75	59,79	0,31	28,17	13,91	102,5401	50,6271	0,9559	0,9176	0,00149
60	1,00	59,48	0,57	27,86	13,91	100,3115	50,0778	0,9437	0,8959	0,00137
90	1,50	58,91	1,00	27,29	13,91	96,1898	49,0289	0,9203	0,8557	0,00120
150	2,50	57,91	1,01	26,29	13,91	89,0007	47,0901	0,8772	0,7857	0,00121
210	3,50	56,90	0,80	25,28	13,91	81,7398	44,9763	0,8301	0,7150	0,00095
270	4,50	56,10	0,93	24,48	13,91	76,0125	43,1858	0,7902	0,6592	0,00111
330	5,50	55,17	1,93	23,55	13,91	69,3266	40,9425	0,7403	0,5941	0,00116
450	7,50	53,24	0,90	21,62	13,91	55,4277	35,6614	0,6227	0,4587	0,00054
570	9,50	52,33	1,05	20,72	13,91	48,9336	32,8560	0,5602	0,3954	0,00063
690	11,50	51,28	1,03	19,66	13,91	41,3611	29,2592	0,4801	0,3217	0,00062
810	13,50	50,25	1,52	18,64	13,91	33,9803	25,3622	0,3933	0,2498	0,00046
1050	17,50	48,73	0,55	17,12	13,91	23,0530	18,7342	0,2458	0,1433	0,00017
1290	21,50	48,18	0,47	16,56	13,91	19,0750	16,0193	0,1853	0,1046	0,00014
1530	25,50	47,71	0,38	16,09	13,91	15,6722	13,5488	0,1303	0,0714	0,00011
1770	29,50	47,32	0,23	15,71	13,91	12,9164	11,4389	0,0833	0,0446	0,00000
2010	33,50	47,09	0,17	15,47	13,91	11,2389	10,1034	0,0536	0,0282	0,00005
2250	37,50	46,92	0,14	15,30	13,91	9,9928	9,0850	0,0309	0,0161	0,00004
2490	41,50	46,78	0,09	15,16	13,91	9,0103	8,2656	0,0127	0,0065	0,00003
2730	45,50	46,69	0,00	15,07	13,91	8,3393	7,6974	0	0	0,00000

Tabela A.5 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca ICP em estufa a 40 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	70,13	0,93	32,60	14,97	117,8174	54,0900	1,0000	1,0000	0,00208
30	0,50	69,20	0,43	31,67	14,97	111,5813	52,7368	0,9702	0,9424	0,00097
60	1,00	68,77	0,53	31,23	14,97	108,6860	52,0811	0,9557	0,9156	0,00059
120	2,00	68,23	0,67	30,70	14,97	105,1225	51,2486	0,9373	0,8827	0,00074
180	3,00	67,57	1,07	30,03	14,97	100,6682	50,1665	0,9135	0,8416	0,00059
300	5,00	66,50	1,23	28,97	14,97	93,5412	48,3314	0,8730	0,7757	0,00069
420	7,00	65,27	1,77	27,73	14,97	85,3007	46,0337	0,8224	0,6996	0,00049
660	11,00	63,50	1,47	25,97	14,97	73,4967	42,3620	0,7414	0,5905	0,00041
900	15,00	62,03	2,67	24,50	14,97	63,6971	38,9116	0,6653	0,5000	0,00037
1380	23,00	59,37	2,27	21,83	14,97	45,8797	31,4504	0,5008	0,3354	0,00032
1860	31,00	57,10	1,43	19,57	14,97	30,7350	23,5094	0,3257	0,1955	0,00020
2340	39,00	55,67	0,90	18,13	14,97	21,1581	17,4632	0,1924	0,1070	0,00013
2820	47,00	54,77	0,43	17,23	14,97	15,1448	13,1528	0,0973	0,0514	0,00006
3300	55,00	54,33	0,20	16,80	14,97	12,2494	10,9127	0,0479	0,0247	0,00003
3780	63,00	54,13	0,10	16,60	14,97	10,9131	9,8394	0,0242	0,0123	0,00001
4260	71,00	54,03	0,10	16,50	14,97	10,2450	9,2929	0,0122	0,0062	0,00001
4740	79,00	53,93	0,00	16,40	14,97	9,5768	8,7398	-	-	0,00000

Tabela A.6 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca ISP em estufa a 80 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	53,57	1,98	28,59	13,20	116,6162	53,8354	1,0000	1,0000	0,01002
15	0,25	51,59	2,13	26,61	13,20	101,5909	50,3946	0,9338	0,8691	0,01074
30	0,50	49,46	1,39	24,48	13,20	85,4798	46,0858	0,8510	0,7287	0,00700
45	0,75	48,07	0,92	23,10	13,20	74,9747	42,8489	0,7887	0,6371	0,00463
60	1,00	47,16	1,71	22,18	13,20	68,0303	40,4869	0,7433	0,5766	0,00432
90	1,50	45,45	2,46	20,47	13,20	55,0758	35,5154	0,6477	0,4637	0,00310
150	2,50	42,99	1,32	18,01	13,20	36,4646	26,7209	0,4786	0,3015	0,00167
210	3,50	41,67	0,87	16,69	13,20	26,4646	20,9265	0,3671	0,2143	0,00109
270	4,50	40,80	0,60	15,83	13,20	19,8990	16,5965	0,2839	0,1571	0,00076
330	5,50	40,20	0,57	15,22	13,20	15,3283	13,2910	0,2203	0,1173	0,00036
450	7,50	39,63	0,37	14,65	13,20	10,9848	9,8976	0,1551	0,0794	0,00024
570	9,50	39,25	0,17	14,28	13,20	8,1566	7,5414	0,1097	0,0548	0,00011
690	11,50	39,09	0,14	14,11	13,20	6,8939	6,4493	0,0887	0,0438	0,00009
810	13,50	38,95	0,18	13,97	13,20	5,8586	5,5344	0,0712	0,0348	0,00006
1050	17,50	38,77	0,12	13,79	13,20	4,4697	4,2785	0,0470	0,0227	0,00004
1290	21,50	38,65	0,20	13,67	13,20	3,5859	3,4617	0,0313	0,0150	0,00006
1530	25,50	38,45	0,03	13,48	13,20	2,0960	2,0529	0,0042	0,0020	0,00001
1770	29,50	38,42	11,01	13,45	13,20	1,8687	1,8344	0,0	0,0	-0,00001

Tabela A.7 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca ISP em estufa a 70 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	67,83	1,82	28,81	13,00	121,5329	54,8600	1,0000	1,0000	0,00935
15	0,25	66,01	1,29	26,98	13,00	107,5109	51,8098	0,9411	0,8815	0,00660
30	0,50	64,72	1,27	25,70	13,00	97,6160	49,3968	0,8944	0,7979	0,00651
45	0,75	63,45	0,77	24,43	13,00	87,8493	46,7658	0,8436	0,7153	0,00393
60	1,00	62,68	2,26	23,66	13,00	81,9533	45,0409	0,8103	0,6655	0,00580
90	1,50	60,42	2,14	21,40	13,00	64,5476	39,2273	0,6979	0,5184	0,00275
150	2,50	58,28	1,52	19,25	13,00	48,0646	32,4619	0,5672	0,3791	0,00195
210	3,50	56,75	1,07	17,73	13,00	36,3497	26,6591	0,4551	0,2801	0,00137
270	4,50	55,69	0,68	16,66	13,00	28,1466	21,9644	0,3644	0,2108	0,00087
330	5,50	55,01	1,04	15,99	13,00	22,9428	18,6614	0,3006	0,1668	0,00067
450	7,50	53,97	0,43	14,95	13,00	14,9449	13,0018	0,1912	0,0992	0,00027
570	9,50	53,54	0,29	14,52	13,00	11,6637	10,4454	0,1418	0,0715	0,00018
690	11,50	53,26	0,22	14,23	13,00	9,4591	8,6417	0,1070	0,0529	0,00014
810	13,50	53,03	0,23	14,01	13,00	7,7416	7,1853	0,0788	0,0383	0,00007
1050	17,50	52,80	0,16	13,78	13,00	5,9472	5,6134	0,0485	0,0232	0,00005
1290	21,50	52,64	0,09	13,62	13,00	4,7167	4,5043	0,0270	0,0128	0,00003
1530	25,50	52,55	0,07	13,53	13,00	4,0246	3,8689	0,0148	0,0069	0,00002
1770	29,50	52,48	0,04	13,46	13,00	3,5119	3,3928	0,0056	0,0026	0,00001
2010	33,50	52,44	0,00	13,42	13,00	3,2043	3,1048	-	-	0,00000

Tabela A.8 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca ISP em estufa a 60 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	52,12	1,21	27,14	12,93	109,8995	52,3581	1,0000	1,0000	0,00624
15	0,25	50,91	0,93	25,93	12,93	100,5414	50,1350	0,9526	0,9101	0,00480
30	0,50	49,98	1,07	25,00	12,93	93,3488	48,2800	0,9130	0,8410	0,00550
45	0,75	48,91	0,80	23,93	12,93	85,0993	45,9749	0,8638	0,7618	0,00411
60	1,00	48,11	1,72	23,14	12,93	78,9379	44,1147	0,8241	0,7026	0,00444
90	1,50	46,39	2,01	21,41	12,93	65,6097	39,6171	0,7282	0,5745	0,00259
150	2,50	44,38	1,29	19,41	12,93	50,0902	33,3734	0,5950	0,4255	0,00166
210	3,50	43,10	1,11	18,12	12,93	40,1392	28,6424	0,4941	0,3299	0,00143
270	4,50	41,99	0,57	17,01	12,93	31,5545	23,9859	0,3947	0,2474	0,00073
330	5,50	41,42	1,00	16,44	12,93	27,1462	21,3504	0,3385	0,2051	0,00064
450	7,50	40,42	0,43	15,44	12,93	19,4122	16,2565	0,2298	0,1308	0,00027
570	9,50	39,99	0,32	15,01	12,93	16,1124	13,8766	0,1791	0,0991	0,00021
690	11,50	39,67	0,23	14,69	12,93	13,6118	11,9809	0,1386	0,0750	0,00015
810	13,50	39,44	0,31	14,46	12,93	11,8587	10,6015	0,1092	0,0582	0,00010
1050	17,50	39,13	0,18	14,15	12,93	9,4612	8,6434	0,0674	0,0352	0,00006
1290	21,50	38,95	0,08	13,97	12,93	8,0433	7,4445	0,0419	0,0215	0,00003
1530	25,50	38,87	0,11	13,89	12,93	7,4246	6,9114	0,0305	0,0156	0,00004
1770	29,50	38,76	0,07	13,78	12,93	6,5739	6,1684	0,0146	0,0074	0,00002
2010	33,50	38,69	0,03	13,71	12,93	6,0583	5,7122	0,0049	0,0025	0,00001
2250	37,50	38,66	27,89	13,68	12,93	5,8005	5,4825	-	-	0,00000

Tabela A.9 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca ISP em estufa a 50 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	66,36	1,02	27,36	13,43	103,6476	50,8956	1,0000	1,0000	0,00508
15	0,25	65,34	0,96	26,33	13,43	96,0298	48,9873	0,9568	0,9210	0,00476
30	0,50	64,38	0,51	25,37	13,43	88,8834	47,0573	0,9130	0,8468	0,00255
45	0,75	63,87	0,69	24,86	13,43	85,0620	45,9641	0,8883	0,8072	0,00341
60	1,00	63,18	1,33	24,17	13,43	79,9504	44,4291	0,8535	0,7542	0,00330
90	1,50	61,85	1,98	22,84	13,43	70,0496	41,1936	0,7802	0,6515	0,00246
150	2,50	59,87	1,39	20,86	13,43	55,2854	35,6024	0,6535	0,4983	0,00172
210	3,50	58,48	0,83	19,47	13,43	44,9380	31,0050	0,5494	0,3910	0,00103
270	4,50	57,64	0,74	18,64	13,43	38,7345	27,9199	0,4795	0,3266	0,00092
330	5,50	56,90	1,09	17,90	13,43	33,2258	24,9395	0,4120	0,2695	0,00067
450	7,50	55,82	0,35	16,81	13,43	25,1365	20,0872	0,3020	0,1856	0,00022
570	9,50	55,46	0,36	16,46	13,43	22,5062	18,3715	0,2632	0,1583	0,00022
690	11,50	55,11	0,32	16,10	13,43	19,8511	16,5631	0,2222	0,1308	0,00020
810	13,50	54,78	0,48	15,78	13,43	17,4442	14,8532	0,1834	0,1058	0,00015
1050	17,50	54,30	0,17	15,29	13,43	13,8462	12,1622	0,1225	0,0685	0,00005
1290	21,50	54,13	0,18	15,12	13,43	12,5558	11,1552	0,0997	0,0551	0,00005
1530	25,50	53,95	0,15	14,94	13,43	11,2407	10,1048	0,0759	0,0414	0,00005
1770	29,50	53,80	0,14	14,79	13,43	10,0993	9,1729	0,0548	0,0296	0,00004
2010	33,50	53,66	0,11	14,65	13,43	9,0571	8,3049	0,0351	0,0188	0,00003
2250	37,50	53,55	0,08	14,54	13,43	8,2630	7,6324	0,0199	0,0106	0,00003
2490	41,50	53,47	0,05	14,46	13,43	7,6427	7,1000	0,0078	0,0041	0,00002
2730	45,50	53,41	23,37	14,41	13,43	7,2457	6,7561	-	-	0,00000

Tabela A.10 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca ISP em estufa a 40 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	61,90	2,30	30,13	12,77	136,0313	57,6327	1,0000	1,0000	0,00601
30	0,50	59,60	1,63	27,83	12,77	118,0157	54,1317	0,9292	0,8583	0,00426
60	1,00	57,97	2,33	26,20	12,77	105,2219	51,2723	0,8715	0,7577	0,00305
120	2,00	55,63	2,23	23,87	12,77	86,9452	46,5084	0,7752	0,6140	0,00292
180	3,00	53,40	2,53	21,63	12,77	69,4517	40,9861	0,6636	0,4764	0,00165
300	5,00	50,87	1,50	19,10	12,77	49,6084	33,1588	0,5054	0,3203	0,00098
420	7,00	49,37	0,93	17,60	12,77	37,8590	27,4621	0,3902	0,2279	0,00030
660	11,00	48,43	0,70	16,67	12,77	30,5483	23,4000	0,3081	0,1704	0,00023
900	15,00	47,73	1,30	15,97	12,77	25,0653	20,0418	0,2403	0,1273	0,00021
1380	23,00	46,43	0,43	14,67	12,77	14,8825	12,9545	0,0970	0,0472	0,00007
1860	31,00	46,00	0,20	14,23	12,77	11,4883	10,3044	0,0435	0,0205	0,00003
2340	39,00	45,80	0,13	14,03	12,77	9,9217	9,0261	0,0176	0,0082	0,00002
2820	47,00	45,67	0,00	13,90	12,77	8,8773	8,1535	-	-	0,00000

Tabela A.11 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca MCP em estufa a 80 °C

Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	47,60	2,66	29,81	14,27	108,9252	52,1360	1,0000	1,0000	0,01243
15	0,25	44,94	2,33	27,15	14,27	90,2804	47,4460	0,9072	0,8262	0,01089
30	0,50	42,61	1,43	24,82	14,27	73,9486	42,5118	0,8095	0,6740	0,00670
45	0,75	41,18	1,06	23,38	14,27	63,9019	38,9879	0,7398	0,5804	0,00497
60	1,00	40,11	1,72	22,32	14,27	56,4486	36,0812	0,6823	0,5109	0,00403
90	1,50	38,39	2,24	20,60	14,27	44,3692	30,7331	0,5764	0,3983	0,00261
150	2,50	36,15	1,06	18,36	14,27	28,6916	22,2948	0,4094	0,2522	0,00124
210	3,50	35,09	0,71	17,30	14,27	21,2617	17,5337	0,3152	0,1829	0,00083
270	4,50	34,38	0,47	16,59	14,27	16,2617	13,9871	0,2450	0,1363	0,00055
330	5,50	33,91	0,49	16,11	14,27	12,9439	11,4605	0,1950	0,1054	0,00029
450	7,50	33,42	0,31	15,62	14,27	9,5093	8,6836	0,1400	0,0734	0,00018
570	9,50	33,11	0,20	15,31	14,27	7,3364	6,8350	0,1034	0,0531	0,00012
690	11,50	32,91	0,13	15,11	14,27	5,9346	5,6021	0,0790	0,0401	0,00008
810	13,50	32,78	0,18	14,98	14,27	5,0234	4,7831	0,0628	0,0316	0,00005
1050	17,50	32,60	0,12	14,80	14,27	3,7617	3,6253	0,0399	0,0198	0,00004
1290	21,50	32,47	0,17	14,68	14,27	2,8972	2,8156	0,0239	0,0118	0,00005
1530	25,50	32,31	0,01	14,51	14,27	1,7290	1,6996	0,0018	0,0009	0,00000
1770	29,50	32,29	0,00	14,50	14,27	1,6355	1,6092	0	0	0,00000

Tabela A.12 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca MCP em estufa a 70 °C

Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	47,81	2,40	28,99	13,45	115,6173	53,6215	1,0000	1,0000	0,01188
15	0,25	45,41	1,39	26,60	13,45	97,7938	49,4423	0,9191	0,8431	0,00689
30	0,50	44,02	1,37	25,21	13,45	87,4566	46,6543	0,8651	0,7521	0,00681
45	0,75	42,65	0,93	23,83	13,45	77,2434	43,5804	0,8056	0,6622	0,00461
60	1,00	41,72	2,04	22,90	13,45	70,3272	41,2895	0,7613	0,6014	0,00507
90	1,50	39,67	2,35	20,86	13,45	55,1314	35,5385	0,6499	0,4676	0,00291
150	2,50	37,32	1,64	18,51	13,45	37,6549	27,3546	0,4915	0,3138	0,00204
210	3,50	35,68	0,95	16,87	13,45	25,4338	20,2767	0,3544	0,2062	0,00118
270	4,50	34,73	0,52	15,91	13,45	18,3441	15,5006	0,2620	0,1438	0,00065
330	5,50	34,20	0,72	15,39	13,45	14,4522	12,6272	0,2064	0,1095	0,00044
450	7,50	33,49	0,23	14,67	13,45	9,1225	8,3598	0,1237	0,0626	0,00014
570	9,50	33,26	0,20	14,44	13,45	7,4120	6,9005	0,0955	0,0476	0,00012
690	11,50	33,06	0,11	14,25	13,45	5,9494	5,6153	0,0706	0,0347	0,00007
810	13,50	32,95	0,13	14,13	13,45	5,1066	4,8585	0,0560	0,0273	0,00004
1050	17,50	32,81	0,13	14,00	13,45	4,1150	3,9524	0,0384	0,0185	0,00004
1290	21,50	32,69	0,08	13,87	13,45	3,1730	3,0754	0,0214	0,0103	0,00003
1530	25,50	32,60	0,05	13,79	13,45	2,5533	2,4897	0,0101	0,0048	0,00002
1770	29,50	32,55	0,02	13,74	13,45	2,1567	2,1111	0,0028	0,0013	0,00001
2010	33,50	32,53	0,00	13,72	13,45	2,0079	1,9684	-	-	-0,00001

Tabela A.13 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca MCP em estufa a 60 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	49,54	1,78	31,75	14,9	113,1349	53,0814	1,0000	1,0000	0,00797
15	0,25	47,76	1,14	29,97	14,9	101,1859	50,2947	0,9439	0,8910	0,00510
30	0,50	46,62	1,19	28,83	14,9	93,5332	48,3293	0,9044	0,8212	0,00534
45	0,75	45,43	0,91	27,64	14,9	85,5225	46,0982	0,8595	0,7481	0,00406
60	1,00	44,52	2,00	26,73	14,9	79,4361	44,2699	0,8227	0,6926	0,00448
90	1,50	42,52	2,45	24,73	14,9	66,0103	39,7628	0,7320	0,5701	0,00274
150	2,50	40,07	1,71	22,28	14,9	49,5637	33,1388	0,5986	0,4201	0,00191
210	3,50	38,37	1,55	20,57	14,9	38,1070	27,5924	0,4870	0,3156	0,00173
270	4,50	36,82	0,75	19,02	14,9	27,7019	21,6927	0,3683	0,2207	0,00084
330	5,50	36,06	1,07	18,27	14,9	22,6449	18,4638	0,3033	0,1745	0,00060
450	7,50	34,99	0,45	17,20	14,9	15,4397	13,3747	0,2009	0,1088	0,00025
570	9,50	34,54	0,32	16,75	14,9	12,4413	11,0647	0,1544	0,0814	0,00018
690	11,50	34,22	0,23	16,43	14,9	10,2931	9,3325	0,1195	0,0618	0,00013
810	13,50	33,99	0,31	16,20	14,9	8,7268	8,0263	0,0932	0,0476	0,00009
1050	17,50	33,68	0,18	15,89	14,9	6,6682	6,2513	0,0575	0,0288	0,00005
1290	21,50	33,50	0,09	15,71	14,9	5,4598	5,1772	0,0359	0,0178	0,00003
1530	25,50	33,41	0,10	15,62	14,9	4,8333	4,6105	0,0245	0,0120	0,00003
1770	29,50	33,31	0,06	15,52	14,9	4,1620	3,9957	0,0121	0,0059	0,00002
2010	33,50	33,25	0,04	15,46	14,9	3,7816	3,6438	0,0050	0,0024	0,00001
2250	37,50	33,21	11,16	15,42	14,9	3,5131	3,3939	-	-	0,00000

Tabela A.14 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca MCP em estufa a 50 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	51,37	1,77	32,64	14,45	125,8072	55,7144	1,0000	1,0000	0,00818
15	0,25	49,59	1,32	30,86	14,45	113,5378	53,1699	0,9482	0,8967	0,00609
30	0,50	48,27	0,67	29,54	14,45	104,4050	51,0775	0,9056	0,8198	0,00309
45	0,75	47,60	0,72	28,87	14,45	99,7694	49,9423	0,8825	0,7807	0,00331
60	1,00	46,89	1,54	28,16	14,45	94,8109	48,6682	0,8566	0,7390	0,00354
90	1,50	45,35	2,30	26,62	14,45	84,1790	45,7050	0,7962	0,6494	0,00265
150	2,50	43,05	1,84	24,32	14,45	68,2887	40,5783	0,6919	0,5156	0,00212
210	3,50	41,21	1,32	22,48	14,45	55,5581	35,7153	0,5929	0,4084	0,00152
270	4,50	39,90	1,18	21,17	14,45	46,4483	31,7165	0,5115	0,3317	0,00136
330	5,50	38,72	1,68	19,99	14,45	38,2841	27,6851	0,4294	0,2630	0,00097
450	7,50	37,04	0,72	18,31	14,45	26,6605	21,0488	0,2943	0,1651	0,00041
570	9,50	36,32	0,42	17,59	14,45	21,7020	17,8321	0,2288	0,1233	0,00024
690	11,50	35,90	0,42	17,17	14,45	18,7961	15,8222	0,1879	0,0989	0,00024
810	13,50	35,48	0,53	16,75	14,45	15,8902	13,7114	0,1449	0,0744	0,00015
1050	17,50	34,95	0,17	16,22	14,45	12,2002	10,8736	0,0872	0,0433	0,00005
1290	21,50	34,78	0,15	16,05	14,45	11,0240	9,9294	0,0679	0,0334	0,00004
1530	25,50	34,62	0,14	15,89	14,45	9,9631	9,0604	0,0503	0,0245	0,00004
1770	29,50	34,49	0,10	15,76	14,45	9,0175	8,2716	0,0342	0,0165	0,00003
2010	33,50	34,39	0,08	15,66	14,45	8,3487	7,7054	0,0227	0,0109	0,00002
2250	37,50	34,31	0,06	15,58	14,45	7,8183	7,2513	0,0134	0,0064	0,00002
2490	41,50	34,25	0,05	15,52	14,45	7,4031	6,8928	0,0061	0,0029	0,00001
2730	45,50	34,20	0,00	15,47	14,45	7,0572	6,5920	-	-	0,00000

Tabela A.15 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca MCP em estufa a 40 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	53,10	2,07	33,90	15,50	118,7097	54,2773	1,0000	1,0000	0,00444
30	0,50	51,03	1,00	31,83	15,50	105,3763	51,3089	0,9357	0,8787	0,00215
60	1,00	50,03	1,53	30,83	15,50	98,9247	49,7297	0,9015	0,8200	0,00165
120	2,00	48,50	1,70	29,30	15,50	89,0323	47,0990	0,8445	0,7299	0,00183
180	3,00	46,80	2,33	27,60	15,50	78,0645	43,8406	0,7740	0,6301	0,00125
300	5,00	44,47	2,23	25,27	15,50	63,0108	38,6544	0,6617	0,4932	0,00120
420	7,00	42,23	2,13	23,03	15,50	48,6022	32,7062	0,5328	0,3620	0,00057
660	11,00	40,10	1,83	20,90	15,50	34,8387	25,8373	0,3841	0,2368	0,00049
900	15,00	38,27	1,27	19,07	15,50	23,0108	18,7063	0,2296	0,1292	0,00017
1380	23,00	37,00	0,57	17,80	15,50	14,8387	12,9213	0,1044	0,0548	0,00008
1860	31,00	36,43	0,27	17,23	15,50	11,1828	10,0580	0,0423	0,0215	0,00004
2340	39,00	36,17	0,10	16,97	15,50	9,4624	8,6444	0,0117	0,0059	0,00001
2820	47,00	36,07	0,00	16,87	15,50	8,8172	8,1028	-	-	0,00000

Tabela A.16 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca MSP em estufa a 80 °C

Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	46,95	2,60	27,86	13,02	114,0333	53,2783	1,0000	1,0000	0,01330
15	0,25	44,36	2,43	25,26	13,02	94,0845	48,4761	0,9070	0,8225	0,01246
30	0,50	41,92	1,51	22,83	13,02	75,3905	42,9844	0,8007	0,6561	0,00775
45	0,75	40,41	1,00	21,32	13,02	63,7644	38,9367	0,7223	0,5526	0,00510
60	1,00	39,41	1,65	20,32	13,02	56,1076	35,9416	0,6643	0,4845	0,00423
90	1,50	37,76	2,08	18,67	13,02	43,4315	30,2803	0,5547	0,3717	0,00267
150	2,50	35,68	0,93	16,59	13,02	27,4264	21,5233	0,3851	0,2293	0,00119
210	3,50	34,75	0,62	15,66	13,02	20,2817	16,8618	0,2948	0,1657	0,00079
270	4,50	34,13	0,45	15,04	13,02	15,5442	13,4530	0,2288	0,1235	0,00057
330	5,50	33,69	0,44	14,59	13,02	12,1127	10,8040	0,1775	0,0930	0,00028
450	7,50	33,24	0,26	14,15	13,02	8,7068	8,0094	0,1234	0,0627	0,00017
570	9,50	32,98	0,14	13,89	13,02	6,7093	6,2875	0,0900	0,0449	0,00009
690	11,50	32,84	0,12	13,75	13,02	5,6082	5,3104	0,0711	0,0351	0,00007
810	13,50	32,72	0,15	13,63	13,02	4,7119	4,4999	0,0554	0,0271	0,00005
1050	17,50	32,57	0,09	13,48	13,02	3,5339	3,4133	0,0344	0,0166	0,00003
1290	21,50	32,48	0,15	13,39	13,02	2,8681	2,7882	0,0223	0,0107	0,00005
1530	25,50	32,34	0,01	13,24	13,02	1,7414	1,7116	0,0014	0,0007	0,00000
1770	29,50	32,33	0,00	13,23	13,02	1,6645	1,6373	-	-	-0,00001

Tabela A.17 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca MSP em estufa a 70 °C

Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	54,42	2,69	30,55	13,82	121,0272	54,7567	1,0000	1,0000	0,01299
15	0,25	51,73	1,76	27,86	13,82	101,5433	50,3829	0,9153	0,8346	0,00850
30	0,50	49,97	1,66	26,10	13,82	88,7871	47,0303	0,8503	0,7263	0,00799
45	0,75	48,31	1,13	24,44	13,82	76,8025	43,4397	0,7808	0,6246	0,00545
60	1,00	47,18	2,32	23,31	13,82	68,6279	40,6978	0,7277	0,5552	0,00559
90	1,50	44,86	2,15	20,99	13,82	51,8447	34,1432	0,6007	0,4127	0,00260
150	2,50	42,71	1,41	18,84	13,82	36,2672	26,6148	0,4549	0,2805	0,00170
210	3,50	41,30	0,82	17,43	13,82	26,0912	20,6923	0,3402	0,1941	0,00098
270	4,50	40,48	0,43	16,61	13,82	20,1833	16,7937	0,2647	0,1439	0,00052
330	5,50	40,05	0,73	16,18	13,82	17,0485	14,5653	0,2215	0,1173	0,00044
450	7,50	39,32	0,28	15,45	13,82	11,7434	10,5093	0,1429	0,0723	0,00017
570	9,50	39,03	0,24	15,16	13,82	9,6938	8,8371	0,1105	0,0549	0,00014
690	11,50	38,79	0,06	14,92	13,82	7,9576	7,3710	0,0821	0,0401	0,00010
810	13,50	38,63	0,19	14,76	13,82	6,7760	6,3460	0,0623	0,0301	0,00006
1050	17,50	38,44	0,11	14,57	13,82	5,3774	5,1030	0,0382	0,0182	0,00003
1290	21,50	38,32	0,09	14,45	13,82	4,5575	4,3589	0,0238	0,0113	0,00003
1530	25,50	38,23	0,05	14,36	13,82	3,9064	3,7596	0,0122	0,0057	0,00002
1770	29,50	38,18	0,04	14,31	13,82	3,5206	3,4009	0,0052	0,0025	0,00001
2010	33,50	38,14	0,00	14,27	13,82	3,2313	3,1301	-	-	0,00000

Tabela A.18 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca MSP em estufa a 60 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	47,88	1,97	28,78	13,14	119,1068	54,3602	1,0000	1,0000	0,01000
15	0,25	45,91	1,48	26,81	13,14	104,1106	51,0070	0,9338	0,8699	0,00751
30	0,50	44,43	1,53	25,33	13,14	92,8445	48,1447	0,8772	0,7721	0,00778
45	0,75	42,89	1,07	23,80	13,14	81,1723	44,8039	0,8112	0,6708	0,00545
60	1,00	41,82	2,19	22,73	13,14	73,0018	42,1971	0,7597	0,5999	0,00557
90	1,50	39,63	2,21	20,53	13,14	56,3055	36,0227	0,6378	0,4550	0,00280
150	2,50	37,42	1,21	18,32	13,14	39,4824	28,3063	0,4853	0,3090	0,00153
210	3,50	36,21	0,86	17,12	13,14	30,2969	23,2522	0,3855	0,2292	0,00110
270	4,50	35,35	0,57	16,25	13,14	23,7249	19,1756	0,3050	0,1722	0,00072
330	5,50	34,78	0,67	15,68	13,14	19,3859	16,2380	0,2469	0,1346	0,00043
450	7,50	34,10	0,32	15,01	13,14	14,2603	12,4806	0,1727	0,0901	0,00020
570	9,50	33,79	0,24	14,69	13,14	11,8498	10,5944	0,1355	0,0691	0,00015
690	11,50	33,54	0,16	14,45	13,14	9,9975	9,0888	0,1057	0,0531	0,00010
810	13,50	33,38	0,25	14,29	13,14	8,7541	8,0495	0,0852	0,0423	0,00008
1050	17,50	33,13	0,09	14,04	13,14	6,8764	6,4340	0,0533	0,0260	0,00003
1290	21,50	33,05	0,13	13,95	13,14	6,2167	5,8528	0,0418	0,0203	0,00004
1530	25,50	32,92	0,08	13,83	13,14	5,2525	4,9904	0,0248	0,0119	0,00002
1770	29,50	32,84	0,06	13,75	13,14	4,6689	4,4606	0,0143	0,0068	0,00002
2010	33,50	32,78	0,04	13,69	13,14	4,2121	4,0419	0,0060	0,0029	0,00001
2250	37,50	32,74	10,76	13,65	13,14	3,8823	3,7372	-	-	0,00000

Tabela A.19 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca MSP em estufa a 50 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	52,24	1,72	28,38	13,63	108,1927	51,9676	1,0000	1,0000	0,00841
15	0,25	50,52	1,53	26,66	13,63	95,5735	48,8683	0,9321	0,8756	0,00747
30	0,50	48,99	0,67	25,13	13,63	84,3727	45,7620	0,8641	0,7652	0,00329
45	0,75	48,32	1,07	24,46	13,63	79,4326	44,2688	0,8314	0,7166	0,00525
60	1,00	47,25	1,68	23,38	13,63	71,5578	41,7106	0,7754	0,6389	0,00411
90	1,50	45,57	2,18	21,70	13,63	59,2321	37,1986	0,6766	0,5175	0,00266
150	2,50	43,39	1,29	19,53	13,63	43,2624	30,1980	0,5233	0,3601	0,00157
210	3,50	42,10	0,72	18,24	13,63	33,8225	25,2741	0,4155	0,2671	0,00088
270	4,50	41,38	0,57	17,52	13,63	28,5155	22,1884	0,3479	0,2148	0,00070
330	5,50	40,81	0,67	16,95	13,63	24,3336	19,5712	0,2906	0,1735	0,00041
450	7,50	40,14	0,37	16,28	13,63	19,4180	16,2605	0,2181	0,1251	0,00023
570	9,50	39,77	0,23	15,91	13,63	16,7034	14,3127	0,1754	0,0983	0,00014
690	11,50	39,54	0,19	15,68	13,63	15,0404	13,0740	0,1483	0,0819	0,00012
810	13,50	39,35	0,35	15,49	13,63	13,6219	11,9888	0,1245	0,0680	0,00011
1050	17,50	39,00	0,09	15,14	13,63	11,0785	9,9736	0,0804	0,0429	0,00003
1290	21,50	38,91	0,12	15,05	13,63	10,3937	9,4152	0,0682	0,0362	0,00004
1530	25,50	38,79	0,10	14,92	13,63	9,4889	8,6665	0,0518	0,0272	0,00003
1770	29,50	38,69	0,09	14,83	13,63	8,7797	8,0710	0,0387	0,0202	0,00003
2010	33,50	38,60	0,08	14,74	13,63	8,1438	7,5305	0,0269	0,0140	0,00002
2250	37,50	38,52	0,07	14,66	13,63	7,5569	7,0259	0,0159	0,0082	0,00002
2490	41,50	38,46	0,05	14,59	13,63	7,0677	6,6012	0,0066	0,0034	0,00001
2730	45,50	38,41	0,00	14,55	13,63	6,7254	6,3016	-	-	-0,00002

Tabela A.20 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca MSP em estufa a 40 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	48,13	3,00	30,97	13,47	129,9505	56,5124	1,0000	1,0000	0,00743
30	0,50	45,13	2,10	27,97	13,47	107,6733	51,8474	0,9039	0,8163	0,00520
60	1,00	43,03	2,67	25,87	13,47	92,0792	47,9381	0,8234	0,6878	0,00330
120	2,00	40,37	2,37	23,20	13,47	72,2772	41,9540	0,7001	0,5245	0,00293
180	3,00	38,00	2,43	20,83	13,47	54,7030	35,3600	0,5642	0,3796	0,00151
300	5,00	35,57	1,27	18,40	13,47	36,6337	26,8116	0,3881	0,2306	0,00078
420	7,00	34,30	0,70	17,13	13,47	27,2277	21,4008	0,2766	0,1531	0,00022
660	11,00	33,60	0,53	16,43	13,47	22,0297	18,0527	0,2077	0,1102	0,00017
900	15,00	33,07	0,90	15,90	13,47	18,0693	15,3040	0,1510	0,0776	0,00014
1380	23,00	32,17	0,20	15,00	13,47	11,3861	10,2222	0,0463	0,0224	0,00003
1860	31,00	31,97	0,17	14,80	13,47	9,9010	9,0090	0,0214	0,0102	0,00003
2340	39,00	31,80	0,00	14,63	13,47	8,6634	7,9727	-	-	0,00000

Tabela A.21 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca moída em estufa a 80 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	41,20	0,60	20,00	10,06667	98,6755	49,6667	1,0000	1,0000	0,01192
5	0,08	40,60	2,17	19,40	10,06667	92,7152	48,1100	0,9676	0,9386	0,01435
20	0,33	38,43	2,00	17,23	10,06667	71,1921	41,5861	0,8318	0,7167	0,01325
35	0,58	36,43	1,03	15,23	10,06667	51,3245	33,9168	0,6721	0,5119	0,00684
50	0,83	35,40	2,13	14,20	10,06667	41,0596	29,1080	0,5720	0,4061	0,00706
80	1,33	33,27	1,20	12,07	10,06667	19,8675	16,5746	0,3111	0,1877	0,00397
110	1,83	32,07	0,37	10,87	10,06667	7,9470	7,3620	0,1193	0,0648	0,00121
140	2,33	31,70	0,17	10,50	10,06667	4,3046	4,1270	0,0520	0,0273	0,00055
170	2,83	31,53	0,10	10,33	10,06667	2,6490	2,5806	0,0198	0,0102	0,00033
200	3,33	31,43	0,00	10,23	10,06667	1,6556	1,6287	-	-	0,00008

Tabela A.22 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca moída em estufa a 70 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	41,10	0,40	20,00	10,17	96,7213	49,1667	1,0000	1,0000	0,00787
5	0,08	40,70	1,27	19,60	10,17	92,7869	48,1293	0,9776	0,9580	0,00831
20	0,33	39,43	1,77	18,33	10,17	80,3279	44,5455	0,9002	0,8252	0,01158
35	0,58	37,67	2,17	16,57	10,17	62,9508	38,6318	0,7725	0,6399	0,00710
65	1,08	35,50	1,87	14,40	10,17	41,6393	29,3981	0,5730	0,4126	0,00612
95	1,58	33,63	1,53	12,53	10,17	23,2787	18,8830	0,3459	0,2168	0,00251
155	2,58	32,10	0,43	11,00	10,17	8,1967	7,5758	0,1017	0,0559	0,00071
215	3,58	31,67	0,10	10,57	10,17	3,9344	3,7855	0,0199	0,0105	0,00016
275	4,58	31,57	0,00	10,47	10,17	2,9508	2,8662	-	-	0,00000

Tabela A.23 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca moída em estufa a 60 °C

Tm	Th	Mt	Mw	PI	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	41,23	0,83	20,00	9,90	102,0202	50,5000	1,0000	1,0000	0,01684
5	0,08	40,40	1,63	19,17	9,90	93,6027	48,3478	0,9556	0,9158	0,01100
20	0,33	38,77	1,37	17,53	9,90	77,1044	43,5361	0,8565	0,7508	0,00920
35	0,58	37,40	1,87	16,17	9,90	63,2997	38,7629	0,7581	0,6128	0,00629
65	1,08	35,53	1,50	14,30	9,90	44,4444	30,7692	0,5933	0,4242	0,00505
95	1,58	34,03	1,93	12,80	9,90	29,2929	22,6563	0,4261	0,2727	0,00325
155	2,58	32,10	0,63	10,87	9,90	9,7643	8,8957	0,1425	0,0774	0,00107
215	3,58	31,47	0,10	10,23	9,90	3,3670	3,2573	0,0263	0,0135	0,00017
275	4,58	31,37	0,03	10,13	9,90	2,3569	2,3026	0,0066	0,0034	0,00003
395	6,58	31,33	0,00	10,10	9,90	2,0202	1,9802	-	-	0,00000

Tabela A.24 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca moída em estufa a 50 °C

Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	40,80	0,27	20,10	9,70	107,2165	51,7413	1,0000	1,0000	0,00550
5	0,08	40,53	1,10	19,83	9,70	104,4674	51,0924	0,9861	0,9731	0,00756
20	0,33	39,43	1,03	18,73	9,70	93,1271	48,2206	0,9248	0,8620	0,00710
35	0,58	38,40	1,70	17,70	9,70	82,4742	45,1977	0,8603	0,7576	0,00584
65	1,08	36,70	1,37	16,00	9,70	64,9485	39,3750	0,7360	0,5859	0,00470
95	1,58	35,33	2,43	14,63	9,70	50,8591	33,7130	0,6151	0,4478	0,00418
155	2,58	32,90	1,33	12,20	9,70	25,7732	20,4918	0,3328	0,2020	0,00229
215	3,58	31,57	0,53	10,87	9,70	12,0275	10,7362	0,1246	0,0673	0,00092
275	4,58	31,03	0,13	10,33	9,70	6,5292	6,1290	0,0262	0,0135	0,00023
335	5,58	30,90	0,00	10,20	9,70	5,1546	4,9020	-	-	0,00000

Tabela A.25 - Dados experimentais da cinética de secagem das amêndoas de jaca moída em estufa a 40 °C

Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
0	0,00	41,27	0,13	20,10	9,67	107,9310	51,9071	1,0000	1,0000	0,00276
5	0,08	41,13	0,40	19,97	9,67	106,5517	51,5860	0,9930	0,9864	0,00276
20	0,33	40,73	0,50	19,57	9,67	102,4138	50,5963	0,9714	0,9456	0,00345
35	0,58	40,23	0,93	19,07	9,67	97,2414	49,3007	0,9430	0,8946	0,00322
65	1,08	39,30	0,90	18,13	9,67	87,5862	46,6912	0,8860	0,7993	0,00310
95	1,58	38,40	1,60	17,23	9,67	78,2759	43,9072	0,8252	0,7075	0,00276
155	2,58	36,80	1,23	15,63	9,67	61,7241	38,1663	0,6997	0,5442	0,00213
215	3,58	35,57	1,30	14,40	9,67	48,9655	32,8704	0,5840	0,4184	0,00224
275	4,58	34,27	0,93	13,10	9,67	35,5172	26,2087	0,4384	0,2857	0,00161
335	5,58	33,33	0,43	12,17	9,67	25,8621	20,5479	0,3147	0,1905	0,00124
455	7,58	31,90	0,13	10,73	9,67	11,0345	9,9379	0,0828	0,0442	0,00037
575	9,58	31,47	0,00	10,30	9,67	6,5517	6,1489	-	-	0,00011

Tabela A.26 - Dados experimentais da cinética de secagem por exposição direta ao sol durante o dia e abrigo à noite (ICP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
18:00	0	0,00	63,73	0,73	38,17	18,63	104,8301	51,1790	1,0000	1,0000	0,00016
22:00	240	4,00	63,00	0,13	37,43	18,63	100,8945	50,2226	0,8060	0,7905	0,00003
2:00	480	8,00	62,87	0,17	37,30	18,63	100,1789	50,0447	0,7699	0,7524	0,00004
6:00	720	12,00	62,70	0,17	37,13	18,63	99,2844	49,8205	0,7244	0,7048	0,00004
10:00	960	16,00	62,53	1,07	36,97	18,63	98,3900	49,5942	0,6785	0,6571	0,00024
14:00	1200	20,00	61,47	0,87	35,90	18,63	92,6655	48,0966	0,3746	0,3524	0,00019
18:00	1440	24,00	60,60	0,13	35,03	18,63	88,0143	46,8126	0,1141	0,1048	0,00003
22:00	1680	28,00	60,47	0,13	34,90	18,63	87,2987	46,6094	0,0729	0,0667	0,00003
2:00	1920	32,00	60,33	0,10	34,77	18,63	86,5832	46,4046	0,0314	0,0286	0,00002
6:00	2160	36,00	60,23	0,00	34,67	18,63	86,0465	46,2500	-	-	0,00000

Tabela A.27 - Dados experimentais da cinética de secagem por exposição direta ao sol durante o dia e abrigo à noite (MCP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
18:00	0	0,00	57,53	2,10	38,87	19,07	103,8462	50,9434	1,0000	1,0000	0,00046
22:00	240	4,00	55,43	1,07	36,77	19,07	92,8322	48,1414	0,8423	0,7968	0,00023
2:00	480	8,00	54,37	0,67	35,70	19,07	87,2378	46,5920	0,7551	0,6935	0,00015
6:00	720	12,00	53,70	0,47	35,03	19,07	83,7413	45,5756	0,6979	0,6290	0,00010
10:00	960	16,00	53,23	2,67	34,57	19,07	81,2937	44,8409	0,6565	0,5839	0,00058
14:00	1200	20,00	50,57	2,43	31,90	19,07	67,3077	40,2299	0,3970	0,3258	0,00053
18:00	1440	24,00	48,13	0,43	29,47	19,07	54,5455	35,2941	0,1191	0,0903	0,00009
22:00	1680	28,00	47,70	0,27	29,03	19,07	52,2727	34,3284	0,0648	0,0484	0,00006
2:00	1920	32,00	47,43	0,23	28,77	19,07	50,8741	33,7196	0,0305	0,0226	0,00005
6:00	2160	36,00	47,20	17,23	28,53	19,07	49,6503	33,1776	-	-	0,00000

Tabela A.28 - Dados experimentais da cinética de secagem por exposição direta ao sol durante o dia combinada com secador ACSN (ICP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
18:00	0	0,00	54,60	1,10	37,40	17,97	108,1633	51,9608	1,0000	1,0000	0,00026
22:00	240	4,00	53,50	0,50	36,30	17,97	102,0408	50,5051	0,7874	0,7643	0,00012
2:00	480	8,00	53,00	0,30	35,80	17,97	99,2579	49,8138	0,6865	0,6571	0,00007
6:00	720	12,00	52,70	0,10	35,50	17,97	97,5881	49,3897	0,6246	0,5929	0,00002
10:00	960	16,00	52,60	0,77	35,40	17,97	97,0315	49,2467	0,6037	0,5714	0,00018
14:00	1200	20,00	51,83	0,53	34,63	17,97	92,7644	48,1232	0,4397	0,4071	0,00012
18:00	1440	24,00	51,30	0,53	34,10	17,97	89,7959	47,3118	0,3212	0,2929	0,00012
22:00	1680	28,00	50,77	0,50	33,57	17,97	86,8275	46,4747	0,1990	0,1786	0,00012
2:00	1920	32,00	50,27	0,33	33,07	17,97	84,0445	45,6653	0,0808	0,0714	0,00008
6:00	2160	36,00	49,93	0,00	32,73	17,97	82,1892	45,1120	-	-	0,00000

Tabela A.29 - Dados experimentais da cinética de secagem por exposição direta ao sol durante o dia combinada secador ACSN (MCP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
18:00	0	0,00	58,10	3,50	39,80	20,37	95,4173	48,8275	1,0000	1,0000	0,00072
22:00	240	4,00	54,60	1,80	36,30	20,37	78,2324	43,8935	0,8115	0,7401	0,00037
2:00	480	8,00	52,80	1,40	34,50	20,37	69,3944	40,9662	0,6996	0,6064	0,00029
6:00	720	12,00	51,40	0,20	33,10	20,37	62,5205	38,4693	0,6042	0,5025	0,00004
10:00	960	16,00	51,20	2,23	32,90	20,37	61,5385	38,0952	0,5899	0,4876	0,00046
14:00	1200	20,00	48,97	1,83	30,67	20,37	50,5728	33,5870	0,4176	0,3218	0,00038
18:00	1440	24,00	47,13	1,20	28,83	20,37	41,5712	29,3642	0,2563	0,1856	0,00025
22:00	1680	28,00	45,93	0,77	27,63	20,37	35,6792	26,2967	0,1390	0,0965	0,00016
2:00	1920	32,00	45,17	0,53	26,87	20,37	31,9149	24,1935	0,0587	0,0396	0,00011
6:00	2160	36,00	44,63	0,00	26,33	20,37	29,2962	22,6582	-	-	0,00000

Tabela A.30 - Dados experimentais da cinética de secagem por exposição direta ao sol durante o dia e abrigo à noite (ISP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
18:00	0	0,00	68,13	2,13	35,80	17,73	101,8797	50,4655	1,0000	1,0000	0,00050
22:00	240	4,00	66,00	0,93	33,67	17,73	89,8496	47,3267	0,8626	0,8112	0,00022
2:00	480	8,00	65,07	0,67	32,73	17,73	84,5865	45,8248	0,7969	0,7286	0,00016
6:00	720	12,00	64,40	1,37	32,07	17,73	80,8271	44,6985	0,7476	0,6696	0,00032
10:00	960	16,00	63,03	3,13	30,70	17,73	73,1203	42,2367	0,6398	0,5487	0,00074
14:00	1200	20,00	59,90	2,27	27,57	17,73	55,4511	35,6711	0,3524	0,2714	0,00053
18:00	1440	24,00	57,63	0,53	25,30	17,73	42,6692	29,9078	0,1002	0,0708	0,00013
22:00	1680	28,00	57,10	0,20	24,77	17,73	39,6617	28,3984	0,0341	0,0236	0,00005
2:00	1920	32,00	56,90	0,07	24,57	17,73	38,5338	27,8155	0,0086	0,0059	0,00002
6:00	2160	36,00	56,83	0,00	24,50	17,73	38,1579	27,6190	-	-	0,00000

Tabela A.31 - Dados experimentais da cinética de secagem por exposição direta ao sol durante o dia e abrigo à noite (MSP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
18:00	0	0,00	85,40	3,20	38,20	19,23	98,6135	49,6510	1,0000	1,0000	0,00069
22:00	240	4,00	82,20	1,33	35,00	19,23	81,9757	45,0476	0,8359	0,7659	0,00029
2:00	480	8,00	80,87	0,80	33,67	19,23	75,0433	42,8713	0,7583	0,6683	0,00017
6:00	720	12,00	80,07	1,77	32,87	19,23	70,8839	41,4807	0,7087	0,6098	0,00038
10:00	960	16,00	78,30	3,50	31,10	19,23	61,6984	38,1565	0,5902	0,4805	0,00076
14:00	1200	20,00	74,80	2,70	27,60	19,23	43,5009	30,3140	0,3106	0,2244	0,00058
18:00	1440	24,00	72,10	0,27	24,90	19,23	29,4627	22,7577	0,0412	0,0268	0,00006
22:00	1680	28,00	71,83	0,07	24,63	19,23	28,0763	21,9215	0,0113	0,0073	0,00001
2:00	1920	32,00	71,77	0,03	24,57	19,23	27,7296	21,7096	0,0038	0,0024	0,00001
6:00	2160	36,00	71,73	0,00	24,53	19,23	27,5563	21,6033	-	-	0,00000

Tabela A.32 - Dados experimentais da cinética de secagem por exposição direta ao sol durante o dia combinada com secador ACSN (ISP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
18:00	0	0,00	56,50	4,60	37,30	18,23	104,5704	51,1171	1,0000	1,0000	0,00105
22:00	240	4,00	51,90	2,47	32,70	18,23	79,3419	44,2406	0,7813	0,6849	0,00056
2:00	480	8,00	49,43	2,00	30,23	18,23	65,8135	39,6913	0,6366	0,5160	0,00046
6:00	720	12,00	47,43	0,87	28,23	18,23	54,8446	35,4191	0,5007	0,3790	0,00020
10:00	960	16,00	46,57	1,97	27,37	18,23	50,0914	33,3739	0,4357	0,3196	0,00045
14:00	1200	20,00	44,60	1,20	25,40	18,23	39,3053	28,2152	0,2716	0,1849	0,00027
18:00	1440	24,00	43,40	0,83	24,20	18,23	32,7239	24,6556	0,1584	0,1027	0,00019
22:00	1680	28,00	42,57	0,30	23,37	18,23	28,1536	21,9686	0,0729	0,0457	0,00007
2:00	1920	32,00	42,27	0,37	23,07	18,23	26,5082	20,9538	0,0406	0,0251	0,00008
6:00	2160	36,00	41,90	0,00	22,70	18,23	24,4973	19,6769	-	-	0,00000

Tabela A.33 - Dados experimentais da cinética de secagem por exposição direta ao sol durante o dia combinada com secador ACSN (MSP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
18:00	0	0,00	56,80	4,77	37,20	18,67	99,2857	49,8208	1,0000	1,0000	0,00106
22:00	240	4,00	52,03	2,93	32,43	18,67	73,7500	42,4460	0,7849	0,6843	0,00065
2:00	480	8,00	49,10	2,03	29,50	18,67	58,0357	36,7232	0,6180	0,4901	0,00045
6:00	720	12,00	47,07	1,13	27,47	18,67	47,1429	32,0388	0,4814	0,3554	0,00025
10:00	960	16,00	45,93	2,03	26,33	18,67	41,0714	29,1139	0,3960	0,2804	0,00045
14:00	1200	20,00	43,90	1,13	24,30	18,67	30,1786	23,1824	0,2230	0,1457	0,00025
18:00	1440	24,00	42,77	0,60	23,17	18,67	24,1071	19,4245	0,1134	0,0706	0,00013
22:00	1680	28,00	42,17	0,20	22,57	18,67	20,8929	17,2821	0,0509	0,0309	0,00004
2:00	1920	32,00	41,97	0,27	22,37	18,67	19,8214	16,5425	0,0294	0,0177	0,00006
6:00	2160	36,00	41,70	0,00	22,10	18,67	18,3929	15,5354	-	-	0,00000

Tabela A.34 - Dados experimentais da cinética de secagem em secador solar durante o dia e abrigo à noite (ICP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
8:30	0	0,00	58,03	1,00	39,40	19,60	101,02	50,25	1,0000	1,0000	0,00170
9:00	30	0,50	57,03	1,40	38,40	19,60	95,92	48,96	0,9654	0,9409	0,00119
10:00	90	1,50	55,63	4,97	37,00	19,60	88,78	47,03	0,9139	0,8583	0,00211
12:00	210	3,50	50,67	3,20	32,03	19,60	63,44	38,81	0,6949	0,5650	0,00136
14:00	330	5,50	47,47	1,93	28,83	19,60	47,11	32,02	0,5138	0,3760	0,00082
16:00	450	7,50	45,53	0,43	26,90	19,60	37,24	27,14	0,3835	0,2618	0,00018
18:00	570	9,50	45,10	0,20	26,47	19,60	35,03	25,94	0,3517	0,2362	0,00004
22:00	810	13,50	44,90	0,07	26,27	19,60	34,01	25,38	0,3366	0,2244	0,00001
2:00	1050	17,50	44,83	0,10	26,20	19,60	33,67	25,19	0,3316	0,2205	0,00002
6:00	1290	21,50	44,73	1,40	26,10	19,60	33,16	24,90	0,3239	0,2146	0,00030
10:00	1530	25,50	43,33	1,83	24,70	19,60	26,02	20,65	0,2104	0,1319	0,00039
14:00	1770	29,50	41,50	0,40	22,87	19,60	16,67	14,29	0,0407	0,0236	0,00009
18:00	2010	33,50	41,10	0,00	22,47	19,60	14,63	12,76	-	-	0,00000

Tabela A.35 Dados experimentais da cinética de secagem em secador solar durante o dia e abrigo à noite (MCP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
8:30	0	0,00	66,17	2,23	40,67	20,20	101,32	50,33	1,0000	1,0000	0,00369
9:00	30	0,50	63,93	2,87	38,43	20,20	90,26	47,44	0,9331	0,8818	0,00237
10:00	90	1,50	61,07	6,20	35,57	20,20	76,07	43,21	0,8349	0,7302	0,00256
12:00	210	3,50	54,87	3,40	29,37	20,20	45,38	31,21	0,5568	0,4021	0,00140
14:00	330	5,50	51,47	1,80	25,97	20,20	28,55	22,21	0,3480	0,2222	0,00074
16:00	450	7,50	49,67	0,20	24,17	20,20	19,64	16,41	0,2137	0,1270	0,00008
18:00	570	9,50	49,47	0,13	23,97	20,20	18,65	15,72	0,1975	0,1164	0,00003
22:00	810	13,50	49,33	0,00	23,83	20,20	17,99	15,24	0,1866	0,1093	0,00000
2:00	1050	17,50	49,33	0,07	23,83	20,20	17,99	15,24	0,1866	0,1093	0,00001
6:00	1290	21,50	49,27	1,13	23,77	20,20	17,66	15,01	0,1811	0,1058	0,00023
10:00	1530	25,50	48,13	0,77	22,63	20,20	12,05	10,75	0,0824	0,0459	0,00016
14:00	1770	29,50	47,37	0,10	21,87	20,20	8,25	7,62	0,0098	0,0053	0,00002
18:00	2010	33,50	47,27	0,00	21,77	20,20	7,76	7,20	-	-	0,00000

Tabela A.36 - Dados experimentais da cinética de secagem em secador solar durante o dia combinada com secador ACSN (ICP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
8:30	0	0,00	57,33	0,90	38,23	19,77	93,42	48,30	1,0000	1,0000	0,00152
9:00	30	0,50	56,43	1,40	37,33	19,77	88,87	47,05	0,9648	0,9421	0,00118
10:00	90	1,50	55,03	5,87	35,93	19,77	81,79	44,99	0,9065	0,8519	0,00247
12:00	210	3,50	49,17	1,93	30,07	19,77	52,11	34,26	0,6031	0,4742	0,00082
14:00	330	5,50	47,23	1,37	28,13	19,77	42,33	29,74	0,4754	0,3498	0,00058
16:00	450	7,50	45,87	0,37	26,77	19,77	35,41	26,15	0,3740	0,2618	0,00015
18:00	570	9,50	45,50	0,60	26,40	19,77	33,56	25,13	0,3450	0,2382	0,00013
22:00	810	13,50	44,90	0,33	25,80	19,77	30,52	23,39	0,2957	0,1996	0,00007
2:00	1050	17,50	44,57	0,40	25,47	19,77	28,84	22,38	0,2674	0,1781	0,00008
6:00	1290	21,50	44,17	0,83	25,07	19,77	26,81	21,14	0,2324	0,1524	0,00018
10:00	1530	25,50	43,33	1,20	24,23	19,77	22,60	18,43	0,1557	0,0987	0,00025
14:00	1770	29,50	42,13	0,33	23,03	19,77	16,53	14,18	0,0356	0,0215	0,00007
18:00	2010	33,50	41,80	0,00	22,70	19,77	14,84	12,92	-	-	0,00000

Tabela A.37 - Dados experimentais da cinética de secagem em secador solar durante o dia combinada com secador ACSN (MCP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
8:30	0	0,00	57,33	2,07	40,03	19,70	103,21	50,79	1,0000	1,0000	0,00350
9:00	30	0,50	55,27	2,33	37,97	19,70	92,72	48,11	0,9395	0,8910	0,00197
10:00	90	1,50	52,93	7,20	35,63	19,70	80,88	44,71	0,8628	0,7680	0,00305
12:00	210	3,50	45,73	3,30	28,43	19,70	44,33	30,72	0,5469	0,3884	0,00140
14:00	330	5,50	42,43	1,60	25,13	19,70	27,58	21,62	0,3415	0,2144	0,00068
16:00	450	7,50	40,83	0,20	23,53	19,70	19,46	16,29	0,2212	0,1301	0,00008
18:00	570	9,50	40,63	0,37	23,33	19,70	18,44	15,57	0,2050	0,1195	0,00008
22:00	810	13,50	40,27	0,17	22,97	19,70	16,58	14,22	0,1746	0,1002	0,00004
2:00	1050	17,50	40,10	0,13	22,80	19,70	15,74	13,60	0,1605	0,0914	0,00003
6:00	1290	21,50	39,97	0,87	22,67	19,70	15,06	13,09	0,1490	0,0844	0,00018
10:00	1530	25,50	39,10	0,63	21,80	19,70	10,66	9,63	0,0710	0,0387	0,00013
14:00	1770	29,50	38,47	0,10	21,17	19,70	7,45	6,93	0,0100	0,0053	0,00002
18:00	2010	33,50	38,37	0,00	21,07	19,70	6,94	6,49	-	-	0,00000

Tabela A.38 - Dados experimentais da cinética de secagem em secador solar durante o dia e ao abrigo à noite (ISP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
9:00	0	0,00	54,40	1,53	35,77	18,33	95,09	48,74	1,0000	1,0000	0,00279
9:30	30	0,50	52,87	5,87	34,23	18,33	86,73	46,45	0,9346	0,8945	0,00267
11:30	150	2,50	47,00	3,33	28,37	18,33	54,73	35,37	0,6189	0,4908	0,00152
13:30	270	4,50	43,67	0,97	25,03	18,33	36,55	26,76	0,3736	0,2615	0,00044
15:30	390	6,50	42,70	0,40	24,07	18,33	31,27	23,82	0,2897	0,1950	0,00018
17:30	510	8,50	42,30	0,13	23,67	18,33	29,09	22,54	0,2530	0,1674	0,00003
21:30	750	12,50	42,17	0,07	23,53	18,33	28,36	22,10	0,2405	0,1583	0,00002
1:30	990	16,50	42,10	0,07	23,47	18,33	28,00	21,88	0,2342	0,1537	0,00002
5:30	1230	20,50	42,03	0,93	23,40	18,33	27,64	21,65	0,2279	0,1491	0,00021
9:30	1470	24,50	41,10	0,83	22,47	18,33	22,55	18,40	0,1351	0,0849	0,00019
13:30	1710	28,50	40,27	0,40	21,63	18,33	18,00	15,25	0,0455	0,0275	0,00009
17:30	1950	32,50	39,87	0,00	21,23	18,33	15,82	13,66	-	-	0,00000

Tabela A.39 - Dados experimentais da cinética de secagem em secador solar durante o dia e ao abrigo à noite (MSP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
9:00	0	0,00	64,50	2,50	39,00	19,57	99,32	49,83	1,0000	1,0000	0,00426
9:30	30	0,50	62,00	7,97	36,50	19,57	86,54	46,39	0,9132	0,8547	0,00339
11:30	150	2,50	54,03	3,87	28,53	19,57	45,83	31,43	0,5351	0,3915	0,00165
13:30	270	4,50	50,17	0,77	24,67	19,57	26,06	20,68	0,2635	0,1667	0,00033
15:30	390	6,50	49,40	0,40	23,90	19,57	22,15	18,13	0,1992	0,1221	0,00017
17:30	510	8,50	49,00	-0,10	23,50	19,57	20,10	16,74	0,1640	0,0988	-0,00002
21:30	750	12,50	49,10	-0,07	23,60	19,57	20,61	17,09	0,1729	0,1047	-0,00001
1:30	990	16,50	49,17	-0,10	23,67	19,57	20,95	17,32	0,1788	0,1085	-0,00002
5:30	1230	20,50	49,27	1,10	23,77	19,57	21,47	17,67	0,1876	0,1143	0,00023
9:30	1470	24,50	48,17	0,60	22,67	19,57	15,84	13,68	0,0867	0,0504	0,00013
13:30	1710	28,50	47,57	0,27	22,07	19,57	12,78	11,33	0,0274	0,0155	0,00006
17:30	1950	32,50	47,30	0,00	21,80	19,57	11,41	10,24	-	-	0,00000

Tabela A.40 - Dados experimentais da cinética de secagem em secador solar durante o dia combinada com secador ACSN (ISP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
9:00	0	0,00	57,40	1,97	38,30	19,57	95,74	48,91	1,0000	1,0000	0,00335
9:30	30	0,50	55,43	5,80	36,33	19,57	85,69	46,15	0,9262	0,8786	0,00247
11:30	150	2,50	49,63	3,90	30,53	19,57	56,05	35,92	0,6530	0,5206	0,00166
13:30	270	4,50	45,73	1,10	26,63	19,57	36,12	26,53	0,4024	0,2798	0,00047
15:30	390	6,50	44,63	0,43	25,53	19,57	30,49	23,37	0,3179	0,2119	0,00018
17:30	510	8,50	44,20	0,57	25,10	19,57	28,28	22,05	0,2826	0,1852	0,00012
21:30	750	12,50	43,63	0,33	24,53	19,57	25,38	20,24	0,2345	0,1502	0,00007
1:30	990	16,50	43,30	0,27	24,20	19,57	23,68	19,15	0,2052	0,1296	0,00006
5:30	1230	20,50	43,03	0,87	23,93	19,57	22,32	18,25	0,1811	0,1132	0,00018
9:30	1470	24,50	42,17	0,67	23,07	19,57	17,89	15,17	0,0991	0,0597	0,00014
13:30	1710	28,50	41,50	0,30	22,40	19,57	14,48	12,65	0,0317	0,0185	0,00006
17:30	1950	32,50	41,20	0,00	22,10	19,57	12,95	11,46	-	-	0,00000

Tabela A.41 - Dados experimentais da cinética de secagem em secador solar durante o dia combinada com secador ACSN (MSP)

H	Tm	Th	Mt	Mw	Pl	Ms	Ubs	Ubw	RX (bw)	RX (bs)	Tx
9:00	0	0,00	56,63	2,90	39,33	20,07	96,01	48,98	1,0000	1,0000	0,00482
9:30	30	0,50	53,73	7,23	36,43	20,07	81,56	44,92	0,8940	0,8281	0,00300
11:30	150	2,50	46,50	3,53	29,20	20,07	45,51	31,28	0,5377	0,3992	0,00147
13:30	270	4,50	42,97	0,90	25,67	20,07	27,91	21,82	0,2907	0,1897	0,00037
15:30	390	6,50	42,07	0,27	24,77	20,07	23,42	18,98	0,2166	0,1364	0,00011
17:30	510	8,50	41,80	0,27	24,50	20,07	22,09	18,10	0,1935	0,1206	0,00006
21:30	750	12,50	41,53	0,23	24,23	20,07	20,76	17,19	0,1700	0,1047	0,00005
1:30	990	16,50	41,30	0,13	24,00	20,07	19,60	16,39	0,1490	0,0909	0,00003
5:30	1230	20,50	41,17	0,70	23,87	20,07	18,94	15,92	0,1368	0,0830	0,00015
9:30	1470	24,50	40,47	0,47	23,17	20,07	15,45	13,38	0,0705	0,0415	0,00010
13:30	1710	28,50	40,00	0,23	22,70	20,07	13,12	11,60	0,0240	0,0138	0,00005
17:30	1950	32,50	39,77	13,47	22,47	20,07	11,96	10,68	-	-	0,00000

APÊNDICE B

Leia-se:

T – Temperatura da água em diferentes profundidades do reservatório térmico (°C);

Ta – Temperatura ambiente (°C);

Te – Temperatura da água na entrada do reservatório térmico (proveniente do trocador de calor da câmara de secagem) (°C);

Ts – Temperatura da água na saída do reservatório térmico (em direção ao trocador de calor da câmara de secagem) (°C);

Tsec – Temperatura dentro da câmara de secagem (°C);

h – Altura da medição a partir da superfície do reservatório térmico (cm).

Tabela B.1 - Perfil de temperaturas de trabalho no sistema ACSN para secagem com exposição direta ao sol durante o dia, das amostras ICP e MCP

Perfil de temperaturas no secador ACSN á noite					
Data	Horário	Ta	Te	Ts	Tsec
09/01	19:00	26,20	32,60	63,80	42,50
	20:00	25,50	32,10	62,50	43,00
	22:00	24,40	31,70	59,60	41,50
	02:00	23,20	29,30	55,20	38,10
	06:00	22,30	26,30	49,60	35,00
	Média		24,32	30,4	58,14
Data	Horário	Ta	Te	Ts	Tsec
10/01	19:00	25,70	34,80	63,90	41,60
	20:00	24,00	32,50	62,50	42,50
	22:00	23,70	32,10	60,00	42,00
	02:00	21,60	29,00	54,10	38,70
	06:00	23,20	29,50	50,00	35,20
	Média		23,64	31,58	58,10

Tabela B.2 - Perfil da temperatura do reservatório térmico do secador ACSN para secagem com exposição direta ao sol durante o dia, das amostras ICP e MCP

		Perfil do reservatório térmico			
T (°C)	H (cm)	09/01/2007		10/01/2007	
		Horário			
		18:00	06:00	18:00	06:00
T1	49	36,00	27,00	37,50	30,00
T2	41	38,10	31,70	40,40	32,90
T3	33	44,10	37,20	47,50	38,40
T4	25	55,00	42,30	56,30	43,60
T5	17	65,00	47,00	64,80	49,00
T6	09	67,00	48,40	67,40	50,00
Média		50,87	38,93	52,32	40,65

Tabela B.3 - Perfil de temperaturas de trabalho no sistema ACSN para secagem com exposição direta ao sol durante o dia, das amostras ISP e MSP

Perfil de temperaturas no secador ACSN á noite					
Data	Horário	Ta	Te	Ts	Tsec
11/01	19:00	24,50	31,40	62,20	43,40
	20:00	24,80	31,90	61,60	41,50
	22:00	24,50	35,00	59,00	40,50
	02:00	23,80	30,50	54,00	38,00
	06:00	23,20	29,10	49,50	34,50
Média		24,16	31,58	57,26	39,58
Data	Horário	Ta	Te	Ts	Tsec
12/01	19:00	23,10	32,10	59,40	41,50
	20:00	23,00	31,80	57,60	40,50
	22:00	22,20	30,80	55,00	40,20
	02:00	21,80	29,10	52,00	38,10
	06:00	22,30	27,30	46,10	33,50
Média		22,48	30,22	54,02	38,76

Tabela B.4 - Perfil da temperatura do reservatório térmico do secador ACSN para secagem com exposição direta ao sol durante o dia, das amostras ISP e MSP

		Perfil do reservatório térmico			
T (°C)	H (cm)	1 dia (11/01)		2 dia (12/01)	
		Horário			
		18:00	06:00	18:00	06:00
T1	49	35,50	29,10	33,50	27,30
T2	41	38,00	32,00	39,00	30,20
T3	33	44,20	38,00	47,00	35,20
T4	25	54,20	42,20	50,00	39,00
T5	17	64,00	47,50	58,00	44,50
T6	09	65,10	49,30	62,00	45,00
Média		50,17	39,68	48,25	36,87

Tabela B.5 - Perfil de temperatura de trabalho no sistema ACSN para secagem em secador solar durante o dia das amostras ICP e MCP

Perfil do sistema à noite					
Horário	Ta	Te	Ts	Tsec	
19:00	26,10	30,80	70,60	46,00	
20:00	25,50	32,60	65,70	47,00	
22:00	24,00	62,40	63,00	46,50	1 dia (18/01)
02:00	22,20	30,80	56,50	43,80	
06:00	22,70	39,50	50,80	35,50	
Média	24,10	39,22	61,32	43,76	

Tabela B.6 - Perfil da temperatura do reservatório térmico do secador ACSN para secagem em secador solar durante o dia, das amostras (ICP e MCP)

		Perfil da caixa d água	
		1 dia (18/01)	
T (°C)	h (cm)	Horário	
		18:00	06:00
T1	49	34,60	29,30
T2	41	41,50	32,60
T3	33	47,50	38,50
T4	25	57,60	44,00
T5	17	65,60	49,50
T6	09	70,00	51,40
Média		52,80	40,88

Tabela B.7 - Perfil de temperatura de trabalho no sistema ACSN para secagem em secador solar durante o dia, das amostras ISP e MSP

Perfil do sistema à noite				
Horário	Ta	Te	Ts	Tsec
20:00	25,30	31,00	63,30	41,00
21:30	24,90	30,70	60,60	41,50
01:30	23,80	29,70	56,00	40,10
06:00	23,00	28,60	49,70	36,50
Média	24,25	30,00	57,40	39,78

1 dia (25/01)

Tabela B.8 - Perfil da temperatura do reservatório térmico do secador ACSN para secagem em secador solar durante o dia, das amostras ISP e MSP

		Perfil da caixa d água	
		1 dia (25/01)	
T (°C)	h (cm)	Horário	
		18:00	06:00
T1	49	35,00	29,90
T2	41	38,00	32,00
T3	33	45,00	37,50
T4	25	54,00	42,80
T5	17	67,20	49,20
T6	09	70,00	50,80
Média		51,53	40,37