



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



DISSERTAÇÃO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

**SIMULAÇÃO DE SECAGEM DE SOJA (*Glycine max* L. Merrill) VARIEDADE
MONSOY 9144RR, EM CAMADA ESTACIONÁRIA**

GABRIELLE DE ARAÚJO RIBEIRO

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO /2015

GABRIELLE DE ARAÚJO RIBEIRO

**SIMULAÇÃO DE SECAGEM DE SOJA (*Glycine max* L. Merrill) VARIEDADE
MONSOY 9144RR, EM CAMADA ESTACIONÁRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento as exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola na Área de concentração em Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas.

ORIENTADORES:

Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

Prof^a. Dr^a. Maria Elita Martins Duarte

Campina Grande – Paraíba

Fevereiro/2015



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



GABRIELLE DE ARAÚJO RIBEIRO

**SIMULAÇÃO DE SECAGEM DE SOJA (*Glycine max* L. Merrill) VARIEDADE
MONSOY 9144RR, EM CAMADA ESTACIONÁRIA**

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Prof. Dr. Mario Eduardo R. M. Cavalcanti Mata
Orientador UFCG/UAEAli

Prof^ª. Dr.^a. Maria Elita Martins Duarte
Orientadora UFCG/UAEAli

Pesquisador Dr. Luis Antonio Dantas
Examinador Externo UFCG/UAEAli

Pesquisador Dr. Renato Fonseca Aragão
Examinador Externo UFCG/UAEAli

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

FEVEREIRO, 2015

*Aos meus pais (Ronaldo e Givaneide)
E ao meu irmão (Marcelino)
Pelo eterno amor, ensinamentos,
apoio e confiança em toda minha vida e durante a realização deste trabalho.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A **DEUS** por conceder o dom da vida e permitir eu estar aqui, dando força para superar cada obstáculo e alegria para brilhar cada dia.

Da forma mais carinhosa e especial agradeço aos **meus pais** (Ronaldo e Givaneide) que estão presentes em todos os dias da minha vida, me apoiando, compreendendo, ensinando, aconselhando e, sobretudo amando.

Ao meu **irmão** (Marcelino) que sempre esteve ao meu lado me incentivando, me acompanhando nessas jornadas de estudos e sempre fazendo de tudo para eu não desistir.

A **Fabício** por me acompanhar noites e dias durante o experimento, me apoiando e incentivando.

Aos meus colegas de curso que além de dividir o conhecimento e sugestões estiverem presentes compartilhando as angústias e alegrias: **Deise, Luzia, Inácia, Francinalva, Elisabete, Danielle, Shirlyanne, Francilância, Tharcia, Raphaela, Renata e Ramon**

A Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da **Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)** pelo apoio e acolhimento e ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)**.

Agradeço aos orientadores **Dr. Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata e a Profª. Drª. Maria Elita Martins Duarte**, pela orientação e apoio durante a pesquisa.

Ao conhecimento e ensinamentos que compartilharam: **Renata, Ramon, Luisinho e Severina**.

Aos funcionários **Silas e Salomé** pelo momento de descontração e ajuda dada.

Minha eterna gratidão a todos que diretamente ou indiretamente me ajudaram a conquistar mais uma etapa em minha vida, sem vocês esse sonho não seria possível.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1.0 INTRODUÇÃO	15
1.1 - Objetivo Geral	17
1.1.1- Objetivos específicos	17
2.0 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 – Soja	18
2.2 - Secagem	19
2.3 – Cinética de secagem	21
2.3.1 Período de indução	22
2.3.2 Período de taxa constante	22
2.3.3 Período de taxa decrescente	23
2.4 – Equações de secagem	23
2.4.1 Equação teórica – Teoria da difusão líquida	24
2.4.2 Equações semiempíricas e empíricas	25
2.4.2.1 Equação de Page	26
2.5 - Simulação de secagem em camada espessa	27
2.5.1 Modelo de Thompson	27
2.5.2 Hukill	30
2.5.3 Morey	31
2.5.4 Michigan	32
3.0 – MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 – Matéria Prima	35
3.2 –Hidratação da soja	36
3.3 - Processo de secagem em camada fina	38
3.4 - Processo de secagem em camada espessa	40
3.4.1- Secador	40
3.4.2 - Equipamentos utilizados durante experimento	41
3.4.3 – Procedimento experimental durante a secagem	42
3.4.4 – Implementação do modelo	43

3.4.5 Análise dos dados	44
4.0– RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 - Software SASS _{SOJA}	45
4.2 - Curvas de secagem em camada fina	46
4.3 - Simulação de secagem	64
5.0 – CONCLUSÕES	84
6.0 - REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A	95
APÊNDICE B	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1-	Estrutura do grão de soja.....	19
Figura 2.2-	Curvas de secagem: Evolução do tempo (t), teor de água do grão (x), temperatura do produto (T), taxa de secagem (dx/dt).....	21
Figura 3.1-	Fluxograma para o processo de secagem.....	35
Figura 3.2-	Retirada da água superficial da soja hidratada, a ser utilizada na secagem em camada fina.....	37
Figura 3.3-	Umidificação da camada espessa.....	37
Figura 3.4-	Secagem em camada fina em cestas de alumínio.....	39
Figura 3.5-	Secador de leito fixo para secagem em camada espessa.....	41
Figura 3.6-	Câmaras de secagem com grãos.....	41
Figura 3.7-	Aparelho para medição da temperatura Electro –Term MS-800.....	42
Figura 4.1-	Tela inicial de abertura do aplicativo.....	45
Figura 4.2-	Tela operacional de cadastro das condições de secagem a serem utilizadas na simulação e apresentação da simulação.....	46
Figura 4.3-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Fick, para teor de água inicial 20% base úmida.....	47
Figura 4.4-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Fick, para teor de água inicial 25% base úmida.....	47
Figura 4.5-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Fick, para teor de água inicial 30% base úmida.....	48
Figura 4.6-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Henderson e Pabis, para teor de água inicial 20% base úmida.....	50
Figura 4.7-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Henderson e Pabis, para teor de água inicial 25% base úmida.....	50
Figura 4.8-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Henderson e Pabis, para teor de água inicial 30% base úmida.....	51
Figura 4.9-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Page , para teor de água inicial 20% base úmida.....	53
Figura 4.10-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Page , para teor de água inicial 25% base úmida.....	53
Figura 4.11-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Page , para teor de água inicial 30% base úmida.....	54
Figura 4.12-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação de Cavalcanti Mata, para teor de água inicial 20% base úmida.....	56

Figura 4.13-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação de Cavalcanti Mata, para teor de água inicial 25% base úmida.....	56
Figura 4.14-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação de Cavalcanti Mata, para teor de água inicial 30% base úmida.....	57
Figura 4.15-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Thompson, para teor de água inicial a 20% base úmida.....	59
Figura 4.16-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Thompson, para teor de água inicial a 25% base úmida.....	59
Figura 4.17-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Thompson, para teor de água inicial a 30% base úmida.....	60
Figura 4.18-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Midilli , para teor de água inicial 20% base úmida.....	62
Figura 4.19-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Midilli , para teor de água inicial 25% base úmida.....	62
Figura 4.20-	Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Midilli , para teor de água inicial 30% base úmida.....	63
Figura 4.21-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 40°C e 20%.....	68
Figura 4.22-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 40°C e 20%.....	69
Figura 4.23-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 40°C e 25%.....	69
Figura 4.24-	urvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 40°C e 25%.....	70
Figura 4.25-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 40°C e 30%.....	70
Figura 4.26-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 40°C e 30%.....	71
Figura 4.27-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 50°C e 20%.....	71
Figura 4.28-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 50°C e 20%.....	72
Figura 4.29-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 50°C e 25%.....	72
Figura 4.30-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 50°C e 25%.....	73
Figura 4.31-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 50°C e 30%.....	73

Figura 4.32-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 50°C e 30%.....	74
Figura 4.33-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 60°C e 20%.....	74
Figura 4.34-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 60°C e 20%.....	75
Figura 4.35-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 60°C e 25%.....	75
Figura 4.36-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 60°C e 25%.....	76
Figura 4.37-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 60°C e 30%.....	76
Figura 4.38-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 60°C e 30%.....	77
Figura 4.39-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 70°C e 20%.....	77
Figura 4.40-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 70°C e 20%.....	78
Figura 4.41-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 70°C e 25%.....	78
Figura 4.42-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 70°C e 25%.....	79
Figura 4.43-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 70°C e 30%.....	79
Figura 4.44-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 70°C e 30%.....	80
Figura 4.45-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 80°C e 20%.....	80
Figura 4.46-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 80°C e 20%.....	81
Figura 4.47-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 80°C e 25%.....	81
Figura 4.48-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 80°C e 25%.....	82
Figura 4.49-	Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 80°C e 30%.....	82
Figura 4.50-	Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 80°C e 30%.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Modelos matemáticos para prever a secagem de produtos agrícolas	27
Tabela 4.1	Coefficientes da equação de Fick para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados	49
Tabela 4.2	Coefficientes da equação de Henderson e Pabis para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados	52
Tabela 4.3	Coefficientes da equação de Page para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados.	55
Tabela 4.4	Coefficientes da equação de Cavalcanti Mata para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados.	58
Tabela 4.5	Coefficientes da equação de Thompson para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados	61
Tabela 4.6	Coefficientes da equação de Midilli para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados.	64
Tabela 5.7	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 40°C e 20% de teor de água.	115
Tabela 5.8	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 40°C e 25% de teor de água.	116
Tabela 5.9	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 40°C e 30% de teor de água	117
Tabela 5.10	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 50°C e 20% de teor de água.	119
Tabela 5.11	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 50°C e 25% de teor de água	120
Tabela 5.12	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 50°C e 30% de teor de água.	122
Tabela 5.13	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 60°C e 20% de teor de água	123
Tabela 5.14	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 60°C e 25% de teor de água.	124
Tabela 5.15	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 60°C e 30% de teor de água.	125
Tabela 5.16	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 70°C e 20% de teor de água.	126
Tabela 5.17	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 70°C e 25% de teor de água.	127

Tabela 5.18	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 70°C e 30% de teor de água.	128
Tabela 5.19	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 80°C e 20% de teor de água.	129
Tabela 5.20	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 80°C e 25% de teor de água.	130
Tabela 5.21	Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 80°C e 30% de teor de água.	131

RIBEIRO, Gabrielle de Araújo **Simulação de secagem de soja (*Glycine max* L. Merrill) variedade Monsoy 9144RR, em camada estacionária**. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. 2015

RESUMO

A secagem contribui diretamente para conservação da qualidade do grão, pois permite o produto obter um teor de água adequado que impede a aceleração de sua deterioração. Um sistema de simulação de secagem de grãos em camada espessa colabora para o dimensionamento de secadores, concedendo uma previsão segura da diversidade que pode ocorrer quando se altera alguns parâmetros como o teor de água inicial, condições do ar de secagem e espessura da camada espessa. Desta forma os objetivos desse trabalho foram realizar a secagem de grãos de soja em camada fina para as temperaturas de 80, 70, 60, 50 e 40 °C e teores de água inicial de 20, 25 e 30%, em base úmida, até atingir o equilíbrio higroscópico correlacionando esses dados experimentais com as equações propostas por Fick, Henderson & Pabis, Page, Cavalcanti Mata, Thompson e Midilli; determinar o calor específico e umidade de equilíbrio proposta pela equação de ASAE e calor latente de vaporização por Brooker et al. e realizar a simulação de secagem em camada espessa estacionária com 60cm de altura e velocidade de ar de 1m.s^{-1} para temperaturas e teores de água estabelecidas na camada fina. Verificou-se que o aumento da temperatura reduziu o tempo de secagem, e dentre as equações as propostas por Page, Cavalcanti Mata e Midilli foram as que melhor representaram os dados experimentais com coeficientes de determinação superiores a 99%, entretanto para a simulação utilizou a equação de Thompson devido ao melhor ajuste ao modelo. Na simulação de secagem utilizou-se o modelo de Thompson o qual não representou adequadamente o comportamento de cada camada de secagem, porém simulou satisfatoriamente a média das camadas, com coeficiente de variação médio entre 0,26% e 26,07% e déficit percentual de teor de água médio final de 0,06% e 5,07% respectivamente.

Palavras-chave: modelagem matemática, secador, teor de água.

RIBEIRO, Gabrielle de Araújo. **Drying simulation in a stationary layer of soybean (*Glycine max* L. Merrill) variety Monsoy 9144RR.** XXf. Dissertation (Masters in Agricultural Engineering). Academic Unit of Agricultural Engineering, Campina Grande Federal Universidad, Campina Grande. 2015.

ABSTRACT

Drying directly contributes in the conservation of the quality of the grain through the mass and heat transfer between the product and the drying air. Information obtained during the drying process is fundamental for system simulation and dryers projects. The objective of this work is therefore perform drying thin layer of soybean (*Glycine max* L. Merrill) to temperatures of 80, 70, 60, 50 and 40 ° C and initial water contents of 20, 25 and 30% in wet basis to achieve equilibrium using the equations of Fick, Henderson and Pabis, Page, Cavalcanti Mata, Thompson and Midilli for adjustment of the experimental data and perform the drying simulation in stationary thick layer with four layers totaling 60 cm in height and air-speed of 1 for 1m.s for temperatures and water contents set in the thin layer. It was verified that the increase in temperature reduced the drying time, and among the equations those proposed by Page, Cavalcanti Mata and Midilli were the ones that best represented the experimental data with coefficients of determination over 99%, however, all showed predominantly biased behavior The coefficient of diffusivity, determined by the Fick equation and considering six terms in series and ball form, had a variation between the $3,418 \times 10^{-11}$ $8.975 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, increasing with the temperature increase. In the drying simulation it was used the model Thompson and the average coefficients of the author's equation for the temperature range 40 to 80 ° C and water content 20 to 30%, thus the simulation results although not represent the drying behavior of each layer, the average simulated satisfactorily, with an average variation coefficient of 0.26% to 26.07% and the percentage deficit of average water content of the final 5.07% and 0.06% respectively.

Keywords: mathematical modeling, dryer, water content

1.0 INTRODUÇÃO

A população mundial, atualmente, segundo a ONU é de aproximadamente 7,2 bilhões de habitantes e estima-se o crescimento de 1 milhão nos próximos 12 anos e em 2050 alcançará cerca de 9,6 bilhões. Com o desenvolvimento demográfico a procura por alimentos aumenta e para suprir essa demanda é necessário investimentos em novas tecnologias no setor agrícola.

O grão é uma dos produtos com maior produção no mundo e no Brasil a sua comercialização é considerada uma importante atividade econômica (TRINDADE, 2013). De acordo com o terceiro levantamento da CONAB (2014) a produção de grãos (algodão, arroz, feijão, mamona, milho, soja, aveia, canola, centeio, cevada, trigo e triticale) foi de cerca de 201,55 milhões de toneladas representando, portanto um acréscimo de 4,2%, em comparação a produção obtida na safra 2013/14 (193,46 milhões de toneladas). Entre os cultivos brasileiros de grãos, a soja se destaca com uma produção de 95,8 milhões de toneladas em uma área de 31,66 milhões de hectares. A produção se destaca no Centro-oeste e Sul do país. Porém, nos últimos anos a região Nordeste com os estados da Bahia, Maranhão e Piauí vem aumentando sua área plantada, produtividade e produção. A variação da safra 2013/14 para 2014/15 foi de 18,9% na produção, sendo maior se comparado a 8,6% e 11,6% para as regiões do Centro-oeste e Sul respectivamente.

A soja é considerada um dos produtos agrícolas com maior importância mundial, sendo o Brasil o segundo maior produtor. O máximo declínio da produção de soja no país foi no sul em 2004/2005, devido a fatores climáticos anormais, com altas temperaturas e baixas precipitações pluviométricas (BORRMANN, 2009).

Sendo uma das mais importantes leguminosas, a soja tem sido consumida durante séculos por países do Leste Asiático. Entretanto, o interesse em todo o mundo está aumentando devido ao seu valor nutricional, proteico e os vários benefícios para a saúde dos seres humanos (XIAO et al., 2015). O consumo de alimentos derivados da soja está relacionado com a prevenção de doenças cardiovasculares, obesidade, hipertensão, redução de efeitos cancerígenos e redução de colesterol (CHEN et al., 2011; FINLEY et al., 2013; LEE et al., 2008; SINGH et al., 2010 e ZHANG et al., 2014). Além de benéfica a saúde e servir de alimento tanto para humanos como para animais, o seu óleo também é uma importante fonte de biocombustível.

Diante da importância e do grande volume da produção de soja, é fundamental garantir a sua qualidade evitando perdas pela contaminação de bactérias, fungos ou insetos. A secagem está entre alguns dos processos para conservação da qualidade do produto utilizando-se aeração e aquecimento do ar para extrair o excesso de umidade da massa de grãos permitindo a antecipação da colheita. De acordo com ELIAS (2007) e ACASIO (1997), essa colheita antecipada é conveniente, pois permite: redução das perdas no campo devido a fatores climáticos indesejáveis e/ou pelos ataques de microrganismos e insetos possibilita também que o terreno seja desocupado para novo plantio e evita perdas decorrentes de quebras para produtos muito seco.

A redução da quantidade de água do produto diminui a atividade biológica e as alterações químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento. Portanto a secagem é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade do grão (RESENDE et al., 2008). Durante a cinética de secagem os resultados obtidos estabelecem as equações de umidade em função do tempo para diferentes períodos de taxas de secagem, essencial para a modelagem matemática, a qual será utilizada posteriormente na simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas (GOUVEIA et al., 2011). De acordo com CORREA et al. (2003) a secagem apresenta informações da transferência de calor e massa entre o material biológico e o ar de secagem, fundamental para projetos de secadores.

A utilização de modelos matemáticos é fundamental para simular o processo de secagem de grãos, além do desenvolvimento e aprimoramento dos secadores, portanto, reduzindo o custo na construção e aperfeiçoamento de projetos (BORTOLAIA, 2011). Segundo TRINDADE (2013) compreender os fenômenos que ocorrem na secagem é essencial para aprimorar as técnicas de secagem existentes, dispondo de uma melhor qualidade de produto, retornos financeiros e condições de trabalho. A projeção inadequada de um secador o qual está em funcionamento provoca danos ao grão como descoloração, quebras e trincas, facilitando a proliferação de insetos e fungos, depreciando a qualidade do grão (BUNYAWANICHAKUL et al., 2007; LUANGMALAWAT et al., 2007).

Na busca de aperfeiçoar o processo de secagem, algumas pesquisas são realizadas para obter então a conservação da qualidade do produto final. Com esse contexto, este trabalho realizou o estudo da secagem e simulação de soja.

1.1 - Objetivo Geral

Estudar o processo de simulação matemática de secagem de soja cultivar Monsoy 9144RR, em camada estacionária por meio de modelo analítico proposto por Thompson e o modelo analítico de Thompson modificado por Cavalcanti Mata.

1.1.1- Objetivos específicos

1. Determinar o calor específico e o calor latente de vaporização da soja cultivar Monsoy 9144RR em função do teor de água.
2. Determinar as curvas de secagem de soja da variedade Monsoy 9144RR em camada fina para as temperaturas de 40, 50, 60, 70, 80°C e teores de água inicial de 20, 25 e 30% (base úmida).
3. Identificar dentre as equações dos autores: Cavalcanti Mata, Fick, Henderson e Pabis, Midilli, Page e Thompson as quais representam melhor os dados experimentais.
4. Determinar o coeficiente de difusão.
5. Realizar a simulação de secagem utilizando o modelo de Thompson a partir da equação que melhor se ajustou.
6. Desenvolver um software de simulação aplicado à secagem de soja.

2.0 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Soja

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma oleaginosa pertencente a família *Fabaceae*, subfamília *Papilionoideae*, gênero *Glycine* L., subgênero *soja* (Moench) F. J. Germ e à espécie *Glycine max* (L.)Merrill (DANTAS, a 2012), com ciclo anual de 110 a 160 dias (CENKOWSKI & JAYAS, 1993). De origem asiática descoberta a cerca de 5 mil atrás, após sua domesticação espalhou-se lentamente para o sul da Ásia e no final do século XV chegou ao ocidente. Aproximadamente em 1920 a soja passou a ter destaque internacional com os americanos cultivando-a em larga escala (CONWAY, 2003). No Brasil a soja foi introduzida por volta de 1914 na região do Rio Grande do Sul, porém a expansão aconteceu nos anos de 1970 devido ao interesse das indústrias de óleo e também do mercado internacional (DANTAS, 2012a).

O Brasil é considerado o segundo maior produtor e exportador de soja perdendo apenas para os Estados Unidos. As exportações de soja contribuem com a balança comercial do país com aproximadamente US\$ 25,2 bilhões o que corresponde a 49,64 milhões de toneladas de grãos, sendo a China o principal importador. A soja é cultivada principalmente como monocultura em regiões do Centro-Oeste e Sul do Brasil, sendo os maiores produtores o Mato Grosso e Paraná com 28,2 e 17,0 milhões de toneladas respectivamente em 2014/2015. Considerada a cultura que mais cresce ocupando mais de 50% do total de área plantada com grãos, o que corresponde a 31,66 milhões de hectares e produção de 95,8 milhões de toneladas de grãos na safra de 2014/2015. Comparando essa última safra com a de 2013/2014 observam-se aumentos de 4,9% e 11,2%, respectivamente, para área plantada e produção total de grãos (CONAB, 2014).

A soja é uma das principais culturas alimentares oleaginosas utilizadas e cultivadas no mundo e de maior aumento na atividade econômica. Alguns fatores contribuem para essa ascensão, como a estrutura do grande mercado internacional para a comercialização do complexo de soja – grão, farelo e óleo de soja; importante fonte de proteína vegetal, fundamental para atender o aumento da demanda dos setores relacionados à fabricação de produtos de origem animal; e investimentos tecnológicos que viabilizam a expansão e exploração para diversas regiões do mundo (LAZZAROTTO & HIRAKURI, 2009).

Utilizadas de diversas formas, a soja destaca-se pelo elevado teor de proteína e óleo. Das cultivares plantadas no Brasil o grão apresenta aproximadamente 40% de proteína e 20%

de óleo. Pode ser usada como adubo verde, silagem, pastagem, feno e forragem, enquanto o grão além de fornecer o óleo consumido para alimentação humana também é aproveitado para biodiesel, sabões e lubrificantes. O farelo é utilizado na alimentação humana e animal, assim como, na fabricação de produtos processados ou semi processados (SEDIYAMA, 2009).

O grão de soja é constituído basicamente por três partes principais: o tegumento, cotilédone e hipocótilo ou germe (Figura 2.1), representando 8%, 90% e 2% respectivamente (HOFMANN, 2012). Considerado um grão que pode sofrer danos mecânicos intensos e devido às características morfológicas facilmente afetar o embrião (POPINGIS, 1985). O embrião possui dois cotilédones, que funcionam como estrutura de reserva e um eixo embrionário. O tegumento composto por um hilo protege o embrião da infecção por fungos e bactérias (LIU, 1997)

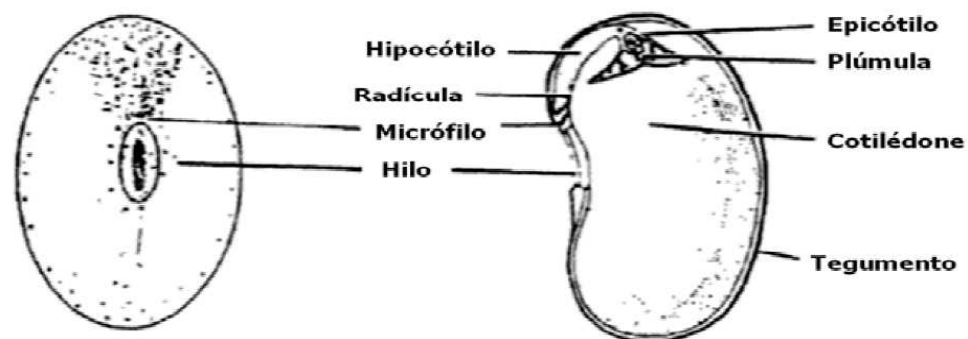


Figura 2 1 - Estrutura do grão de soja
 FONTE: (LIU, 1997).

As sementes maduras que não possuem o endosperma são denominadas exalbuminosas, como a soja. Nestes casos o grão fica mais suscetível aos danos mecânicos pela exposição do embrião. Em grão com formas arredondadas, o impacto sobre o eixo embrionário tem a mesma probabilidade para qualquer região, o que não ocorre com grãos de sorgo, girassol, milho e outros, os quais possuem mais tecidos que protegem o embrião. (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

2.2 - Secagem

Nas indústrias de fabricação de alimentos um dos maiores desafios é armazenar o produto por período de tempo mais longo. Entre as tecnologias utilizadas para reduzir as

perdas pós-colheita e aumentar o tempo de prateleira encontram-se a conserva, congelamento e o processo de secagem, sendo este último o mais importante e utilizado (JAYARAMAN & DAS GUPTA, 2006).

De acordo com FIOREZE (2004), a secagem é um processo que envolve exclusivamente a transferência de calor e massa removendo voluntariamente ou não, total ou parcial, de uma fase líquida ou gasosa. Esse procedimento é empregado principalmente quando envolve a transferência de calor do ambiente para o produto e evaporação da água do alimento na forma de vapor, por convecção natural ou forçada.

GONELI et al. (2011) afirma que a secagem é a retirada parcial da água dos grãos por meio da transferência de calor do ar para os grãos, devido à diferença de temperatura e da massa, através do fluxo de vapor d'água do produto para o ar devido a diferença de pressão parcial de vapor. MARTINAZZO et al. (2010) considera a secagem como a remoção de grande quantidade de água presente no grão, logo após a sua maturidade fisiológica, até um nível aceitável para o armazenamento por longos períodos, com o mínimo de perda.

A secagem é indispensável no processo pós-colheita. Ao reduzir o teor de água também minimiza os riscos de deterioração do grão pela diminuição da atividade metabólica do mesmo. A conservação das características durante o armazenamento e os cortes com os custos durante a estocagem, manipulação e transporte também são beneficiados pela secagem.

Os grãos são compostos pela matéria seca e úmida, sendo a água (parte úmida) apresenta-se em três formas. A primeira delas é a água superficial, fácil de ser removida através da evaporação, localiza-se na parte externa do grão e encontra-se no estado líquido. A segunda forma é a água intersticial, considerada a umidade livre no interior do grão. Durante a secagem o gradiente de pressão osmótica entre as partes interna e externa do produto aumenta a pressão interna facilitando a saída dessa umidade. Água de constituição, a terceira forma, não pode ser removida durante a secagem, pois está localizada nas células e está quimicamente ligada aos componentes do produto (gorduras, vitaminas, enzimas, proteínas e carboidratos) (BORTOLAIA, 2011). A umidade superficial é removida durante a secagem enquanto a intersticial é reduzida, enquanto que a de constituição permanece no grão, e representa de 8 a 10% do teor total de água (WEBER, 2005).

A evaporação da água durante o processo de secagem pode envolver três mecanismos de transferência de calor: convecção, condução e radiação ou a combinação desses. Segundo, VALENTE (2007) a mais utilizada é a transferência por convecção, na qual o fluxo de ar aquecido passa pelo material. Assim a água migra do interior para superfície do produto e

logo após para o ambiente. A transferência de calor dependerá da temperatura, umidade relativa, fluxo e direção do ar; enquanto a transferência de massa é influenciada pela estrutura física, porosidade e composição química do grão (ANTÔNIO, 2002).

Conforme PARK et al. (2007), a evolução da transferência de calor e massa durante o processo de secagem apresentam três períodos distintos, de acordo com a Figura 2.2. A umidade do produto representada pela curva (a) indica uma redução do conteúdo de água em relação ao tempo durante o processo. A curva (b) apresenta a taxa de secagem do produto, ou seja a cinética de secagem (dx/dt) nos três períodos distintos. A curva (c) a variação da temperatura do produto com o tempo.

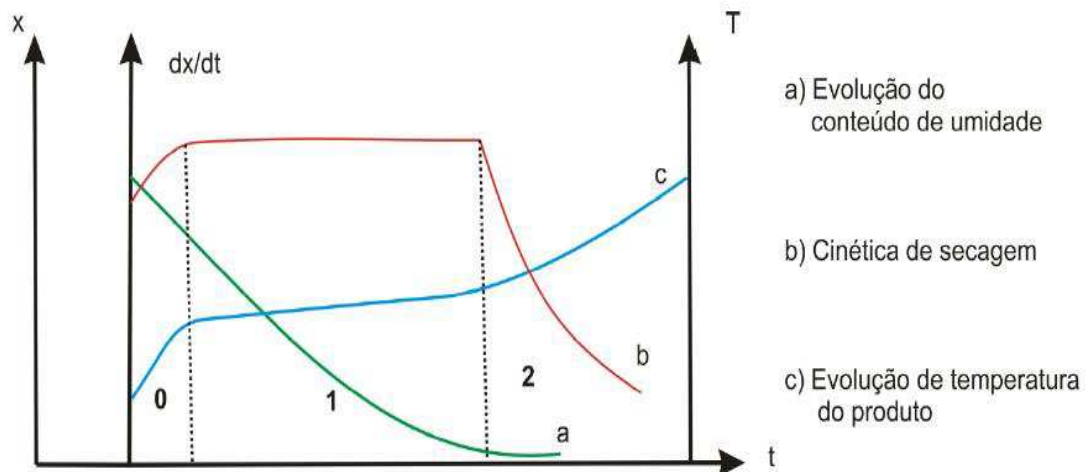


Figura 2 2 - Curvas de secagem: Evolução do tempo (t), teor de água do grão (x), temperatura do produto (T), taxa de secagem (dx/dt).

2.3 – Cinética de secagem

As informações de dados de cinética de secagem são fundamentais no processo de secagem, tanto na etapa de implantação como na operacional. Esses dados auxiliam no dimensionamento dos equipamentos de secagem, como também na melhoria da qualidade final do produto evitando a degradação e minimização de custos operacionais como os insumos energéticos (SILVA, 2013).

Os produtos submetidos à secagem perdem uma quantidade de água em um determinado período e essa relação é denominada de cinética de secagem, o qual é dividido em três períodos. O primeiro período é indução, o segundo é período à taxa constante no qual a perda de umidade é constante, o último é período à taxa decrescente. Segundo

CAVALCANTI MATA (1997), a secagem comercial das sementes, geralmente, acontece efetivamente durante a secagem decrescente. Ainda segundo o mesmo, quando a taxa de secagem quando passa de constante para decrescente observa-se uma umidade crítica a qual dependerá das características do produto como a forma e tamanho e também das condições de secagem.

2.3.1 Período de indução

No início do processo de secagem, correspondente à região zero da Figura 2.2, o produto está com baixa temperatura e pressão de vapor de água. O contato com o ar eleva gradualmente a temperatura do grão e também a pressão de vapor de água e taxa de secagem. A elevação prossegue até a transferência de calor equivaler á transferência de massa.

2.3.2 Período de taxa constante

Secagem a taxa constante, correspondente à região 1 da Figura 2.2, ocorre em produtos os quais a resistência interna ao transporte de água é muito menor do que a resistência externa para remoção de água na superfície do produto. Nesse caso o grão não tem influência direta sobre a taxa de secagem, pois o mesmo encontra-se com grande quantidade de água disponível sendo facilmente evaporado.

Segundo SILVA (2013) devido à taxa de secagem constante, a temperatura do grão nesse caso é considerada também invariável e próxima da temperatura do bulbo úmido do ar. Além disso, a pressão de vapor na superfície do sólido se mantém constante e igual à pressão de vapor da água pura. A velocidade, portanto, é constante, uma vez que a transferência de massa e calor é equivalente, e será constante até quando a quantidade de água na superfície do grão seja suficiente para acompanhar a evaporação.

Nesse período alguns fatores influenciarão na taxa como a área exposta; temperatura do ar; diferença entre a umidade do ar e da superfície; coeficiente de transferência de massa; e velocidade do ar de secagem (HALL, 1971).

A taxa de secagem constante pode ser apresentada pela Equação 2.1:

$$\frac{dX}{dt} = \frac{h_m A}{R_v T_{abs}} (P_{vs} - P_v) = \frac{h_c A}{h_{fg}} (T_{bs} - T_{bu}) \quad (2.1)$$

Em que:

$\frac{dX}{dt}$ - taxa de secagem, kg.s^{-1} ;

h_m - coeficiente de transferência de massa por convecção, m.s^{-1} ;

A - área da superfície exposta, m^2 ;

R_v - constante dos gases para o vapor de água, $462,69 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

T_{abs} - temperatura absoluta, K ;

P_{vs} - pressão de vapor à temperatura do bulbo molhado, N.m^{-2} ;

P_v - pressão de vapor à temperatura ambiente, N.m^{-2} ;

h_c - coeficiente de transferência de calor por convecção, $\text{W. m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$;

h_{fg} - calor latente de vaporização da água, J.kg^{-1} ;

T_{bs} - temperatura ambiente, K ;

T_{bu} - temperatura do bulbo úmido, K .

2.3.3 Período de taxa decrescente

O período da secagem à taxa decrescente, correspondente à região 2 da Figura 2.2, e acontece quando a resistência interna ao transporte da água se torna maior que a resistência externa. Portanto a camada fina de água que cobria o grão até o período anterior não existe mais, pois o movimento do líquido interno do produto é insuficiente para manter essa camada. Logo, a velocidade de secagem reduz, a temperatura aumenta aproximando-se da ambiente e o processo encerra ao atingir a umidade de equilíbrio com o ar de secagem. BURMESTER & EGGERS (2010), afirma que essa taxa é influenciada especialmente pela temperatura do ar de secagem.

2.4 – Equações de secagem

O processo de secagem comporta-se de maneira diferente em lotes de camada fina (partículas individuais) e camadas espessas ou delgadas ou leito profundo. No primeiro caso considera a temperatura e teor de água do ar e do grão em todo o espaço igual, em cada tempo. Na camada espessa, considera-se temperatura, teor de água ou outras variáveis, diferentes para cada posição para o grão e ar (BORTOLAIA, 2011).

Diversas equações empíricas, semiempíricas e teóricas são encontrados para descrever o processo de transferência de água durante o processo de secagem de camada fina. O

empírico corresponde à análise da secagem com os dados experimentais obtidos em laboratórios, tais como temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, fornecendo relação direta entre teor de água e tempo de secagem. E o teórico, baseado em leis físicas, considera além dos dados experimentais também os mecanismos de transporte de líquido, energia e massa no interior dos produtos. Entre os modelos teóricos pode-se citar a difusão líquida, difusão de vapor, escoamento por efusão, movimento líquido, fluxo de líquido e de vapor, sendo o primeiro o mais utilizado.

2.4.1 Equação teórica – Teoria da difusão líquida

Essa teoria expressa o fluxo de massa por unidade de área sendo proporcional ao gradiente de concentração de água. A teoria difusional é fundamentada na lei de Fick (Equação 2.2), estabelecendo o gradiente de teor de umidade, tal que:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{ef} \nabla X) \quad (2.2)$$

X - teor de água, decimal, em base seca;

D_{ef} - difusividade efetiva, $m^2 \cdot s^{-1}$;

t - tempo de secagem, s;

∇ - gradiente.

A difusividade é determinada como a facilidade com que a água é removida do produto e pode variar de acordo com as condições de secagem, não sendo inerente ao material e reconhecida como difusividade efetiva (PARK et al. 2004). Este coeficiente é obtido com ajustes das curvas de cinética durante o experimento do processo de secagem, variando de acordo com equação tipo Arrhenius quando a temperatura é dependente (DOYMAZ, 2007). O coeficiente de difusão, em geral é constante ou linearmente dependente da temperatura e do teor de água do produto (FIOREZE, 2004).

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R_v T_{abs}}\right) \quad (2.3)$$

em que,

D_0 - coeficiente de difusão, $m^2 s^{-1}$

R_v - constante universal dos gases, $J \cdot kg^{-1} K^{-1}$

T_{abs} - temperatura absoluta, K

E_a - energia de ativação, J.kg^{-1}

De acordo com CAVALCANTI MATA (1997), na teoria de difusão de líquido devem ser consideradas algumas propostas como: a redução do volume é desprezível; não há efeito da capilaridade; o produto entra em equilíbrio térmico com ar instantaneamente; e por fim os efeitos de transferência de massa e energia entre o produto são desprezíveis.

Em materiais homogêneos de acordo com a teoria de difusão de líquidos a secagem pode ser apresentada pela Equação 2.4

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \left(\frac{\partial^2 X}{\partial r^2} + \frac{c}{r} \cdot \frac{\partial X}{\partial r} \right) \quad (2.4)$$

Onde,

X - teor de água do produto, decimal, base seca;

c - 0 para corpos planos, 1 para cilíndricos e 2 para esféricos;

r - distancia radial ou espessura, m;

t - tempo, s.

D_{ef} - difusividade efetiva, $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$.

CRANK (1975) encontrou a solução analítica para algumas formas geométricas, como para esfera representada pela Equação 2.5:

$$RX = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \frac{\pi^2 D_{ef} t}{r^2}\right) \quad (2.5)$$

Em que,

RX - razão do teor de água;

D_{ef} - difusividade efetiva, $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$;

t - tempo, s;

r - raio da esfera, m;

n - número de termos.

2.4.2 Equações semiempíricas e empíricas.

As equações semiempíricas são um somatório da teoria e a aplicação e se baseiam na

Lei de Newton para resfriamento aplicado a transferência de massa. As equações empíricas abordam matematicamente o processo sendo os dados experimentais a base (SILVA, 2013). Apesar das inúmeras teorias propostas para representar o processo de secagem, geralmente as relações empíricas e semiempíricas são consideradas as melhores opções para descrever (GRAEBIN, 2014). As empíricas é a relação direta do tempo de secagem com o conteúdo de água no produto, desconsiderando os efeitos termodinâmicos durante a secagem.

2.4.2.1 Equação de Page

A equação de Newton desenvolvido por Lewis em 1921, não representa precisamente as curvas de secagem de alguns produtos. Ele subestima valores do início da curva e superestima os demais (LOPES, 2013). A equação de Page (Equação 2.6), desenvolvido para solucionar essas deficiências, é considerada uma modificação da equação de Newton sendo acrescentado um expoente “n” ao tempo.

$$RX = \exp(-Kt^n) \quad (2.6)$$

Em que,

RX - razão do teor de água, adimensional;

t - tempo (min);

K e n - constantes da equação.

De acordo com VIEIRA (2006) a constante K está relacionada com processos internos durante a secagem enquanto a “n” está relacionada com efeitos externos. Devido a apresentação satisfatória dos resultados, essa equação é amplamente utilizada para produtos agrícolas (ANDREOLA, 2013).

Outras equações também utilizadas e citadas por Reis et al.(2012) e Siqueira et al. (2012) encontram-se na tabela 2.1

Tabela 2.1 – Equações matemáticas para prever a secagem de produtos agrícolas.

AUTORES	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	EQUAÇÃO
Midilli	$RX = a \exp(-kt^n) + bt$	(2.7)
Verma	$RX = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k_1 t)$	(2.8)
Modelo de dois termos	$RX = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(2.9)
Wang e Sing	$RX = 1+at+bt^2$	(2.10)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-k t)$	(2.11)
Modelo de aproximação e difusão	$RX = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k b t)$	(2.12)
Logaritimico	$RX = a \exp(-k t) + c$	(2.13)
Newton	$RX = \exp(-k t)$	(2.14)

Outra equação citada por ALMEIDA (2013) é a de Cavalcanti Mata a qual tem apresentado resultados satisfatórios para a representação do processo de secagem:

$$RX = a_1 \exp(-b t^{a_2}) + a_3 \exp(-b t^{a_4}) + a_5 \quad (2.15)$$

Pesquisas realizadas com objetivos de estudar o processo de secagem utilizando a equação de Cavalcanti Mata se mostraram satisfatórias, como: banana pacovan (ALMEIDA,2013); feijão preto (GOUVEIA et al., 2011); polpa do fruto do mandacaru (MELO et al., 2013).

2.5 - Simulação de secagem em camada espessa

A utilização de modelos matemáticos durante o estudo de secagem de um produto é fundamental para relacionar os dados obtidos experimentalmente, com os dados obtidos por simulação matemática. Na literatura os modelos de simulação que se destacam são: Modelo de Thompson; Hukil; Morey e o Modelo da Universidade Estadual de Michigan.

Os modelos matemáticos de secagem são usados para prever o teor de água final, temperatura de saída do produto e o tempo de secagem. Os modelos de simulação são, portanto, recomendados para descrever o processo de secagem (VALENTE et al.,2012).

2.5.1 Modelo de Thompson

O modelo de Thompson é considerado uma das melhores opções para a simulação de

secagem de grãos em altas temperaturas, devido a precisão na estimativa das variáveis de saída. Baseado nas leis de transferência de massa e energia e uma equação empírica de secagem em camada fina (DALPASQUALE & SPERANDIO, 2010).

O modelo apresentado por THOMPSON et al., (1968) é representado pela Equação de camada fina (2.16):

$$t = A \ln(RX) + B [\ln(RX)]^2 \quad (2.16)$$

Em que,

t - tempo (h);

RX - razão do teor de água;

A - $a_1 + a_2\theta$;

B - $b_1 \exp(b_2\theta)$;

a_1 , a_2 , b_1 e b_2 - constantes que dependem do produto;

A e B - constantes que dependem do produto.

A razão do teor de água representada pela Equação (2.17)

$$RX = \frac{(X - X_e)}{(X_i - X_e)} \quad (2.17)$$

Sendo,

RX - razão do teor de água, % b.s.;

X - teor de água no instante, %b.s.;

X_e - teor de água de equilíbrio, %b.s.;

X_i - teor de água inicial, %b.s..

As seguintes suposições foram proposta nesse modelo que segue na equação de cima:

1. A temperatura do grão é igual à temperatura do ar que envolve.
2. O teor de água de equilíbrio do grão, em certa condição do ar de secagem é expresso por:

$$X_e = \left[\frac{-\ln(1-UR)}{K(T_e+C)} \right]^{\frac{1}{N}} \quad (2.18)$$

Onde,

UR - umidade relativa do ar, decimal;

K, C e N - constantes que dependem do produto;

T_e - temperatura de equilíbrio, °C.

3. O calor latente de vaporização da água no produto é representado por:

$$h_{fg}' = (597,6 - 0,57T) (1 + A \cdot \exp(-B \cdot X)) \quad (2.19)$$

Em que,

A, B - constantes que dependem do produto;

X - teor de água, kg/kg;

h_{fg}' - calor latente de vaporização da água no produto, kJ. kg⁻¹.

4. O calor específico do produto é dado pela equação:

$$C_p = (M + N \cdot X_{bs}) \cdot R_c \quad (2.20)$$

Onde,

X_{bs} - teor de água do grão, % base seca;

M, N - constantes que dependem do produto;

C_p - calor específico do produto, kcal.kg⁻¹. °C⁻¹;

R_c - razão produto/ ar, kg de matéria seca . kg⁻¹ de ar seco.

Sendo a razão produto R_c representada por:

$$R_c = \rho_p \cdot \frac{L}{N} \cdot \frac{V_{esp}}{\bar{G}_{ar} \cdot \Delta t \cdot 60} \quad (2.21)$$

Em que,

L - altura total da camada de sementes, m;

N - numero de camadas do secador onde está ocorrendo a secagem;

G_{ar} - fluxo de ar de secagem ,m³.min⁻¹. m⁻²;

V_{esp} - volume específico do ar m³. kg⁻¹ ar seco;

Δt - incremento do tempo, h;

ρ_p - massa específica do produto, kg.m⁻³.

2.5.2 Hukill

Considerado o primeiro modelo para descrever o processo de secagem em camada espessa. Apesar de simples, tem uma boa aproximação com o teor de água do produto em função da altura da camada e do tempo de secagem. Devido a isso é muito utilizado em estudos de otimização de processos de secagem (LOPES et al., 2002).

O modelo de Hukill, citado por PALACIN et al. (2009), a umidade do grão em uma específica posição da camada após um certo tempo do início da secagem é representado pela equação:

$$RX = \frac{2^D}{2^D + 2^Y - 1} \quad (2.22)$$

em que

RX - razão do teor de água do produto;

D - constante de profundidade;

Y - constante de tempo.

A razão de umidade representada pela Equação (2.8). A constante adimensional de tempo representado por:

$$Y = \frac{t}{H} \quad (2.23)$$

em que,

H - tempo de meia resposta, h;

t - tempo após o início da secagem, h.

O tempo de meia resposta corresponde ao tempo para o produto atingir uma razão de teor de água de 0,5. Ainda de acordo com PALACIN et al.(2009), esse tempo pode ser obtido por equações empíricas e geralmente são em função do tempo, umidade relativa e temperatura.

Quanto ao fator de profundidade (D) que contém uma quantidade de matéria seca é representado pelas equações abaixo:

$$D = \frac{MS}{A_s.W} \quad (2.24)$$

$$MS = \left[\frac{60.Q.c_a.(T-T_e).H}{v.h_v(U_0-U_e)} \right] \quad (2.25)$$

$$W = \frac{P}{1+U_0} \quad (2.26)$$

em que,

MS - massa de matéria seca, kg;

h_v - calor latente de vaporização, KJ/kg de água;

Q - vazão do ar de secagem, $m^3 \cdot \text{min}^{-1}$;

c_a - calor específico do ar de secagem, $\text{KJ} / \text{kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

U_e - teor de água de equilíbrio, decimal, base seca;

T_e - temperatura de equilíbrio, $^\circ\text{C}$;

A_s - área de secagem do silo, m^2 ;

W - massa específica da matéria seca, $\text{kg} \text{ m}^{-3}$;

v - volume específico do ar, $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$;

P - massa específica aparente do produto, $\text{kg} \text{ m}^{-3}$;

U_0 - umidade inicial do produto, % base seca;

T - temperatura do produto em determinado tempo, $^\circ\text{C}$.

2.5.3 Morey

Conforme QUEIROZ et al. (1987) o modelo de Morey simula adequadamente as secagens a baixas temperaturas. Considerado uma ampliação do modelo de Thompson para secagens de baixas temperaturas e baixos fluxos de ar, sendo comprovados em estudos, mínimos desvios entre os dados experimentais e os simulados. Com isso o novo modelo é capaz de simular condições de secagem com fluxo de ar maior (DALPASQUALE & SPERANDIO, 2010).

MOREY et al. (1979), demonstram que a secagem não ocorria conforme Thompson simulava nas camadas inferiores. Acrescentou-se ao modelo uma equação empírica de camada fina que simula a perda de água no grão para as temperaturas de 0° a 27°C (OLIVEIRA, 2006). Para o milho a equação de Morey é apresentada da seguinte forma:

$$RX = \exp[-b_1(t^{0,664})] \quad (2.27)$$

em que,

$$b_1 = \exp(-b_2 t^{b_3}) \quad (2.28)$$

sendo,

$$b_2 = [6,0142 + 1,453 \times 10^{-4}(UR)^2]^{0,5} - (1,8\theta + 32)[3,353 \times 10^{-4} + 3,0 \times 10^{-8}(UR)^2]^{0,5} \quad (2.29)$$

$$b_3 = [0,12264 - (1,461 \times 10^{-3}UR) + (4,14 \times 10^{-5}UR\theta) - (1,044 \times 10^{-4}\theta)] \quad (2.30)$$

2.5.4 Michigan

O modelo denominado Michigan State University – MSU, foi desenvolvido por BROOKER et al. (1974). Constituído por quatro equações diferenciais reproduz as condições de energia e umidade tanto do ar de secagem e do produto e considera a transferência simultânea de energia e massa. Na época apesar de ser excelente na simulação de processos rápidos de secagem foi restrito para secagem com ar ambiente devido alta demanda de tempo computacional (DALPASQUALE & SPERANDIO, 2010). Devem-se considerar as seguintes suposições para o modelo:

- 1- A contração do volume dos grãos é desprezível;
- 2- Os gradientes de temperaturas dentro do grão são negligenciáveis;
- 3- A condução de calor entre grão e grão é desprezível;
- 4- O fluxo de calor na parede do silo é desprezível;
- 5- A capacidade calorífica do ar e produto é constante para curto intervalo tempo;
- 6- Equações de secagem para camada fina e isoterma de umidade de equilíbrio são conhecidas;
- 7- As variações de temperatura e umidade do ar em relação ao tempo são desconsideradas comparando com a mesma variação de camada fina;
- 8- Os fluxos de ar e grãos são uniformes.

As equações diferenciais de balanço energia e de massa do ar e do produto são descritas a seguir:

a) Balanço de energia do ar

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{h_c A_e (T - \theta)}{[(\rho_a v_a (c_a + c_v W))]} \quad (2.31)$$

b) Balanço de energia do produto

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \left(\frac{h_c A_e}{\rho_p c_p + \rho_p c_w U} \right) (T - \theta) + \left(\frac{h_{fg}' + c_v (T - \theta)}{\rho_p c_p + \rho_p c_w U} \right) \rho_a v_a \frac{\partial W}{\partial y} \quad (2.32)$$

c) Balanço de massa do ar

$$\frac{\partial W}{\partial y} = - \frac{\rho_p}{\rho_p v_a} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (2.33)$$

d) Balanço de massa do produto

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \text{equação de secagem em camada fina adequada} \quad (2.34)$$

em que,

h - coeficiente de transferência de calor por convecção, $w.m^{-2}.K^{-1}$;

A_e - área específica, $m^2.m^{-3}$;

T - temperatura do ar, K;

θ - temperatura das sementes, K;

ρ - massa específica, $kg.m^{-3}$;

c - calor específico, $J.kg^{-1}.k^{-1}$;

W - razão de umidade do ar, adimensional;

v - velocidade, $m.s^{-1}$;

y - profundidade da camada de sementes, m;

t - tempo, s;

h_{fg} - calor latente de vaporização da água do produto, $J.kg^{-1}$.

Os índices a, v, w, p indicam respectivamente as propriedades que contém estes índices ao ar, vapor, água e produto.

3.0 – MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) da unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande – PB.

3.1 – Matéria Prima

Utilizou-se soja variedade MONSOY 9144 RR, proveniente da cidade de Luís Eduardo Magalhães –BA. Inicialmente foi realizada a limpeza do material através do peneiramento, para eliminar partículas menores, grãos trincados, perfurados ou com outros danos. As etapas para o processo de secagem estão apresentadas no fluxograma da (Figura 3.1).

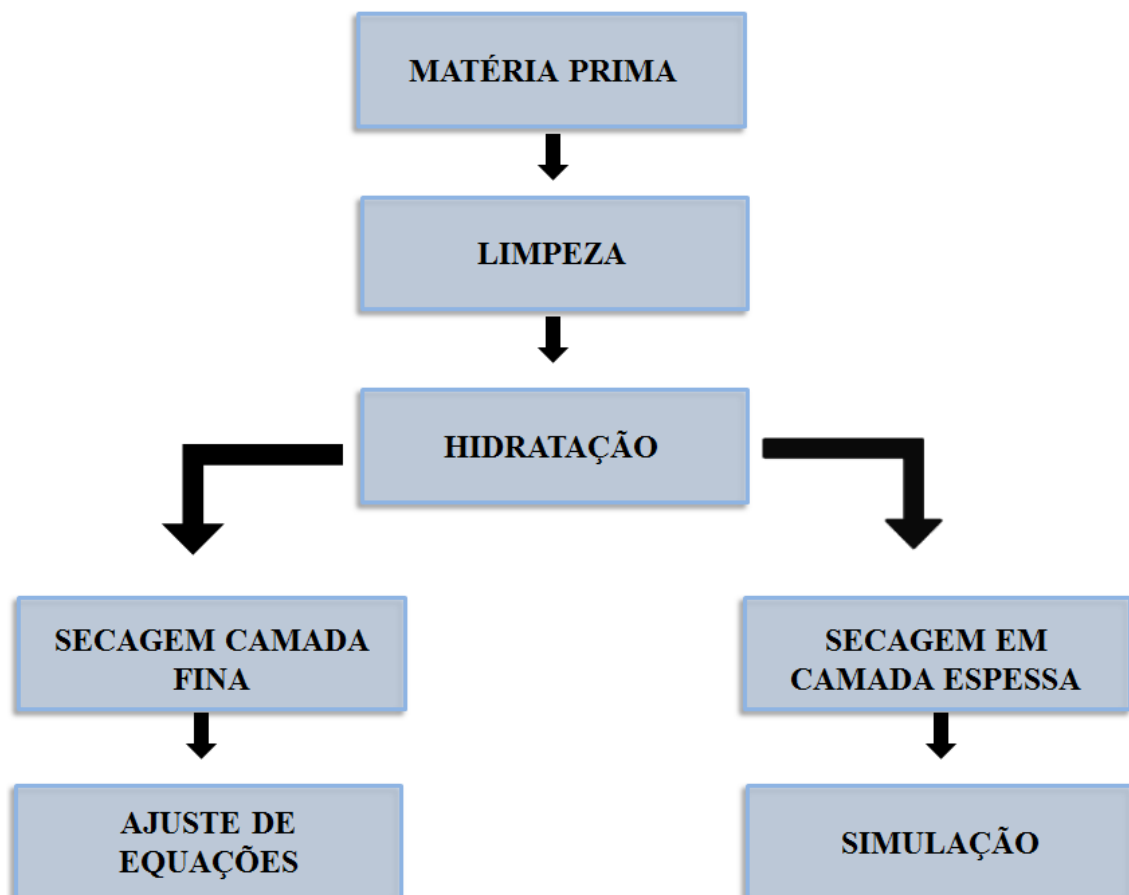


Figura 3. 1 - Fluxograma para o processo de secagem.

O experimento foi conduzido em diferentes combinações de temperaturas e teor de água inicial. As temperaturas de secagem foram: 40, 50, 60, 70 e 80°C e os teores de água inicial de 20, 25 e 30% (b.u.). Portanto, a cada secagem tinha-se uma temperatura de secagem e teor de água diferente, totalizando 15 combinações com secagens a: 40°C e 20%; 40°C e 25%; 40°C e 30%; 50° e 20%; 50°C e 25%; 50°C e 30%; 60°C e 20%; 60°C e 25%; 60°C e 30%; 70°C e 20%; 70°C e 25%/ 70°C e 30%; 80°C e 20%; 80°C e 25%; 80°C e 30%. Esse procedimento foi realizado para secagem em camada fina e espessa.

3.2 –Hidratação da soja

A soja adquirida estava com teor de água de aproximadamente 12%b.u. (base úmida). Para atingir o teor de água inicial recomendado no presente trabalho realizou-se a hidratação.

A hidratação foi diferenciada para a soja utilizada na secagem de camada fina e na camada espessa, devido à quantidade da massa de grãos em cada uma. A soja usada para secagem em camada fina foi hidratada colocando-se aproximadamente 500g do produto em uma bandeja com água, até cobrir totalmente os grãos, durante 10 minutos. Em seguida, para retirada da água superficial do grão de forma uniforme, o mesmo era espalhado sobre um pano em cima do balcão e em temperatura ambiente e ventilação natural (Figura 3.2). Cerca de três horas depois se media o teor de água da soja, que estava sobre o pano, em dielétrico. Caso, o teor de água ainda estivesse acima do recomendado para a realização do trabalho, a soja permanecia sobre ventilação e temperatura natural.

Esse procedimento, de hidratação para a soja utilizada na secagem em camada fina, era feito todas as vezes que se realizava uma secagem. Para secagem em camada fina utilizou-se aproximadamente 7,500 kg de soja.

Na hidratação para a soja a ser utilizada na secagem em camada espessa procedeu-se com 8kg do produto, para cada secagem. Essa massa era disposta em um recipiente, acrescentando água de forma uniforme, deixando a soja bem úmida. Em seguida embalava completamente o recipiente contendo o grão (Figura 3.3) e conduzia-se para uma câmara B.O.D. Três dias depois retirava uma pequena amostra e conferia o teor de água no dielétrico. Caso não atingisse o teor de água recomendando o produto permanecia mais dias na câmara B.O.D.

Esse procedimento, de hidratação para a soja utilizada na secagem em camada espessa, era feito todas as vezes que se realizava uma secagem. Para secagem em camada espessa utilizou-se aproximadamente 120 kg de soja.



Figura 3. 2 - Retirada da água superficial da soja hidratada, a ser utilizada na secagem em camada fina.



Figura 3. 3 - Hidratação da secagem em camada espessa.

A confirmação do teor de água, para os dois casos de secagem, foi realizada pelo método da estufa a 105°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) durante 24h e determinado pela Equação (3.1). Para cada

combinação e em cada tipo de secagem foram realizadas três repetições com 5g cada e acondicionados em cadinhos e encaminhados para estufa no momento que o resultado apresentado pelo método dielétrico fosse o requerido no trabalho.

$$X_{b.u.} = \frac{M_{H_2O}}{M_{seca} + M_{H_2O}} \times 100 \quad (3.1)$$

em que,

X b.u. - Teor de água, %b.u.;

M_{H₂O} - massa da água, g;

M_{seca} - massa seca, g.

3.3 - Processo de secagem em camada fina

O processo de secagem realizado logo depois da hidratação foi aplicado em diferentes secadores para camada fina e espessa. Na camada fina, os grãos de soja foram acondicionadas em 3 cestas de alumínio cada uma com aproximadamente 90g de soja (Figura 3.4). A estufa utilizada foi com circulação e renovação de ar do modelo Marconi - 035. Nos primeiros 30 minutos fazia-se a pesagem a cada 5 minutos depois, a cada 10 minutos a cada 20 e assim sucessivamente até atingir a cada hora. A secagem encerrava-se quando as 3 últimas pesagens apresentavam uma variação na ordem de 0,001g. A pesagem foi em balança digital modelo AL 500C com precisão de 0,001g. Ao encerrar a secagem o produto ficava durante 24h dentro da estufa de circulação de ar com a temperatura determinada no processo de secagem para garantir a retirada da água. Após as 24h as cestas com as sojas eram levadas para a estufa a 105°C (±1°C) para a determinação do teor de água, de acordo com BRASIL (2009).



Figura 3. 4 - Secagem em camada fina em cestas de alumínio.

Os dados de pesagens foram utilizados para obter as curvas de secagem relacionando razão de teor de água em função de tempo de secagem para cada temperatura (Equação 3.2)

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (3.2)$$

em que,

RX - razão do teor de água, adimensional;

X - teor de água no instante, %b.s.;

X_e - teor de água de equilíbrio, %b.s.;

X_i - teor de água inicial, %b.s..

Onde,

$$X = \frac{M_{H_2O}}{M_{seca}} \quad (3.3)$$

Os parâmetros das equações foram obtidos por regressão não linear pelo método numérico Quase-Newton para as equações de Fick, Henderson e Pabis, Page, Cavalcanti Mata, Thompson e Midilli apresentados nas equações 2.5; 2.11; 2.6, 2.15; 2.16 e 2.7,

respectivamente. As equações foram ajustadas aos dados experimentais da secagem através do Software Statística, versão 7.0.

O modelo difusional de Fick (Equação 3.4) para esfera foi utilizado para a estimativa da difusividade efetiva (D_{ef}), sendo considerados seis termos da série, os quais apresentaram melhores ajustes da Equação de Fick aos dados experimentais das secagens.

$$\begin{aligned}RX = & (0,607927 \exp(0,805682 D t)) + (0,151982 \exp(3,222728 D t)) + \\ & (0,067547 \exp(7,251138 D t)) + (0,037995 \exp(116,018207 D t)) + \\ & (0,024317 \exp(2900,455171 D t)) + (0,016887 \exp(104416,3863 D t))\end{aligned}\quad (3.4)$$

t = tempo, segundos.

D = coeficiente de difusividade, $m^2 \cdot s^{-1}$.

Para relacionar a equação que expressou melhor o processo de secagem utilizou-se o critério de coeficiente de determinação (R^2) e a distribuição dos resíduos entre dados calculados e preditos fornecido pelo software Statística 7.0. De acordo com GONELI (2008), considera-se comportamento aleatório quando os valores residuais estão próximo à faixa horizontal em torno de zero e também quando não há formação de figuras definidas, ou seja, não indica a tendenciosidade dos resultados o que é considerada uma equação inadequada para representação do processo de secagem.

3.4 - Processo de secagem em camada espessa

3.4.1- Secador

A realização experimental para camada espessa foi realizada no secador (Figura 3.5) com capacidade para oito quilos de grãos. O equipamento é constituído por:

- a) O secador com 95 cm de comprimento e 35cm de altura funcionando em posição horizontal com isolamento térmico com quatro compartimentos, cada compartimento tem duas entradas para medição de temperatura e umidade relativa do ar de secagem;
- b) Quatro cam, cada uma medindo 25cm de altura por 15cm de largura com capacidade para armazenar 2kg de grãos cada. Essas são preenchidas com o produto e colocadas no interior do secador (Figura 3.6).



Figura 3. 5 - Secador de leito fixo para secagem em camada espessa.



Figura 3. 6 - Câmaras de secagem com grãos.

3.4.2 - Equipamentos utilizados durante experimento

- a) Aparelho para medição das temperaturas (Figura 3.7) nos cinco pontos do secador. Os pontos localizavam-se na entrada e saída do ar de cada caixa. E outro termômetro para medir a temperatura do ar ambiente;
- b) Higrômetro digital para medição da umidade relativa do ar;
- c) Anemômetro para medir a velocidade do ar na saída do secador;
- d) Estufa para determinação do teor de água.



Figura 3. 7 - Aparelho para medição da temperatura Electro –Term MS-800

3.4.3 – Procedimento experimental durante a secagem

Após a hidratação, quando o grão atingia o teor de água inicial recomendado retirava-o da B.O.D., e esperava 1 hora para o mesmo atingir a temperatura ambiente. Em seguida, colocavam-se aproximadamente dois quilos de soja em cada uma das quatro câmaras, cada uma com 15 cm de largura, ou seja, uma camada de 60 cm de espessura. Antes de introduzir as câmaras no secador, regulava-se o aparelho para a temperatura desejada e velocidade do ar de 1m/s. Durante o processo de secagem a temperatura de entrada e saída de cada caixa, a velocidade do ar de secagem, a umidade do ambiente e temperatura do ambiente eram medidas. A secagem foi realizada para umidades iniciais aproximadas de 20, 25 e 30% e temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80% em base úmida.

Durante a secagem foi realizada a pesagem da massa de grãos e os cálculos da razão da umidade (Equação 3.2). Nas três primeiras horas a pesagem foi realizada a cada meia hora, em seguida de uma em uma hora e quando a diferença entre as pesagens diminuía aumentava-se o intervalo de tempo. O processo encerrava-se quando a quarta câmara que representa a última camada de secagem atingia aproximadamente 12% base úmida.

Ao final do processo retiravam-se três amostras, de três gramas cada, de cada camada, com a finalidade de verificar o teor de água final, o qual foi realizado pelo método da estufa a 105°C(±1°C) por 24 horas.

3.4.4 – Implementação do modelo

Após o processo experimental de secagem em camada espessa, os dados foram utilizados para a realização da simulação de secagem. O modelo empregado foi o de THOMPSON et al. (1968) para um secador de leito fixo.

As simulações foram realizadas no programa computacional para simulação de secagem de grão (**SASS_{soja}**) desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produto Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

No presente trabalho os dados de entrada utilizados no programa foram a temperatura do bulbo seco, umidade relativa do ar, teor de água final do grão, altura da camada de secagem de 0,60m (quatro camadas de 0,15m cada) e pressão atmosférica de 760mm Hg.

O calor específico proposta por ASAE- Standard (1984), (Equação 3.5)

$$C_p = 0,391 + 0,461 \left(\frac{X}{100+X} \right) \quad (3.5)$$

C_p - calor específico do produto, $\text{kJ.Kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

X - teor de água, %b.s..

Calor latente de vaporização, considera a água extraída do produto no formato de pressão de vapor pela ação do calor (TRINDADE, 2013), foi determinada pela Equação (3.6) BROOKER et al. (1992)

$$h_{fg}' = (597,6 - 0,57T) (1 + 0,7001 \exp(-01497 X)) \quad (3.6)$$

h_{fg}' – calor latente de vaporização da água do produto, kJ.kg^{-1}

T - temperatura, $^\circ\text{C}$

X - teor de água, kg/kg .

Equação (3.7) do teor de água de equilíbrio segundo DALPASQUALE (1981)

$$X_e = \frac{0,03962 UR^{0,4919}}{\ln(T)} \quad (3.7)$$

UR = umidade relativa do ar de secagem

T = temperatura do ar de secagem, °C.

3.4.5 Análise dos dados

Os dados experimentais da camada espessa foram comparados com os dados de simulação determinados pelo programa SASS_{soja}.

A análise realizada entre esses dados foi através do erro percentual absoluto conforme equação:

$$D_{esv} \% = \left| \frac{X_{exp} - X_{sim}}{X_{exp}} \right| \times 100 \quad (3.8)$$

Onde,

Desv% = Desvio percentual, %

X_{exp} = valor do dado experimental, b.s

X_{sim} = valor do dado simulado, b.s.

4.0– RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Software SASS_{soja}

O SASS_{soja}, Software Aplicado à Simulação de Secagem de soja, é um programa computacional desenvolvido a partir do programa SASS-PB(Anum) DANTAS (2012-b), oferecendo alternativas para determinar as propriedades psicométricas do ar ambiente a partir de dados de temperatura de bulbo seco (T_{bs}) e temperatura de bulbo molhado (T_{bu})

Na figura 4.1 encontra-se a tela inicial do SASSsoja. Na figura 4.2 os dados de entrada devem estar de acordo com o presente trabalho, ou seja, temperatura de secagem de 40°C até 80°C e teor de água inicial entre 20 e 30% em base úmida. No item “sobre” encontra-se a identificação dos autores do software.



Figura 4. 1 - Tela inicial de abertura do aplicativo.

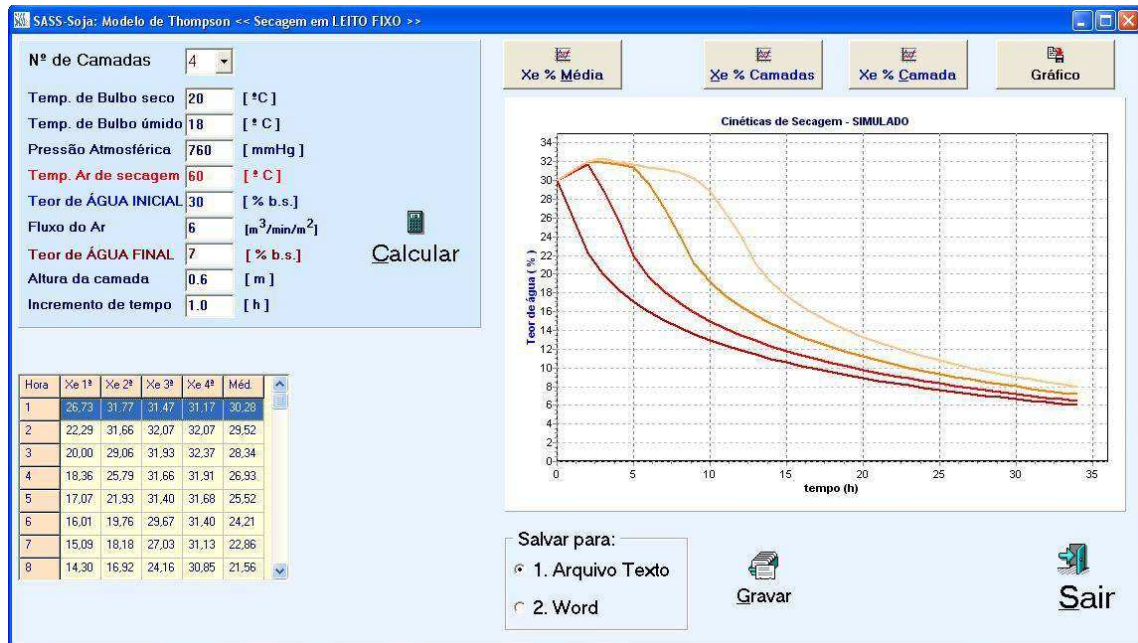


Figura 4. 2 - Tela operacional de cadastro das condições de secagem a serem utilizadas na simulação e apresentação da simulação.

4.2 - Curvas de secagem em camada fina

Os resultados dos dados experimentais de secagem em camada fina na temperatura de 40°C a 80°C e teores de água iniciais de 20%(b.u.) a 30%(b.u.) foram obtidos por regressão não linear e ajustados para as equações de Fick , Henderson e Pabis, Page, Cavalcanti Mata, Thompson e Midilli.

Durante a secagem, observou-se que, com o aumento da temperatura a remoção de água foi maior, consequentemente o produto atingiu mais rapidamente o teor de água de equilíbrio, portanto menor tempo de secagem. Pesquisas realizadas com milho, OLIVEIRA et al. (2012); pinhão-masno, SIQUEIRA et al. (2012); pequi, FIQUEIRA (2014); nabo forrageiro, SOUSA et al.(2011) e soja, OLIVEIRA et al. (2013) também obtiveram o mesmo comportamento.

Nas Figuras 4.3 a 4.5 encontram-se as curvas de secagem para as temperaturas e teores de água iniciais estabelecidas, com os valores experimentais e os estimados pela equação de Fick para seis termos.

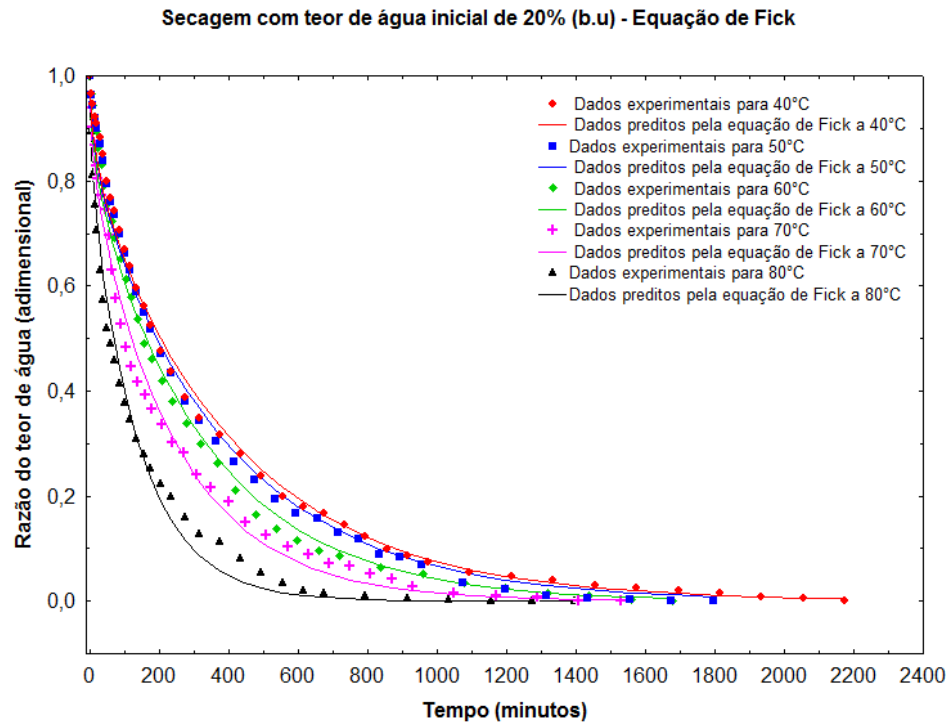


Figura 4. 3 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Fick, para teor de água inicial 20% base úmida.

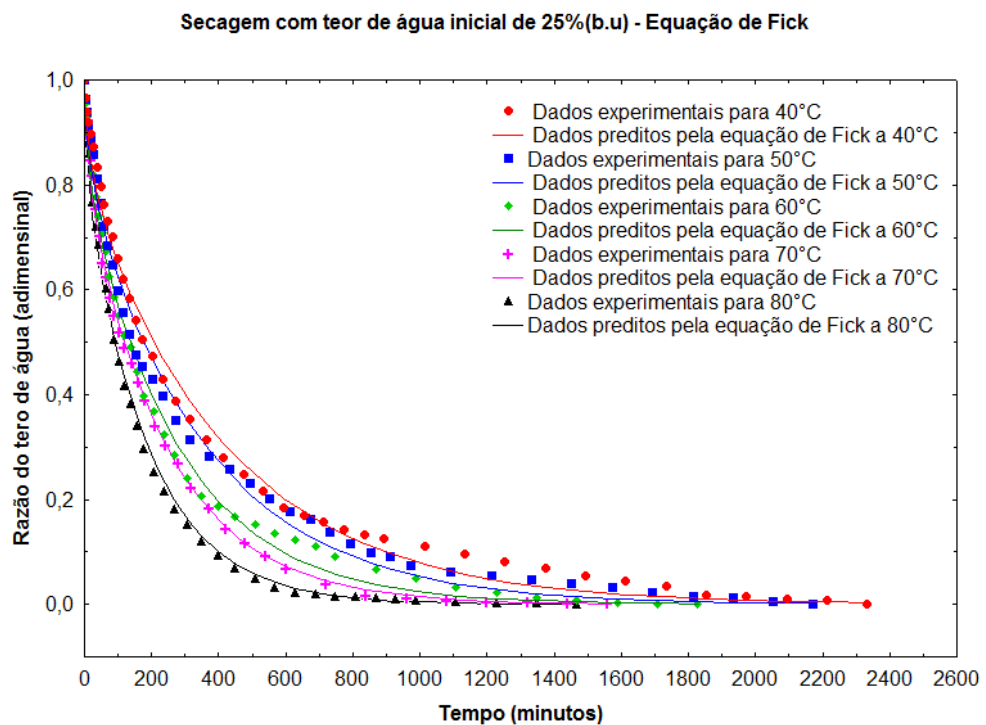


Figura 4. 4 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Fick, para teor de água inicial 25% base úmida.

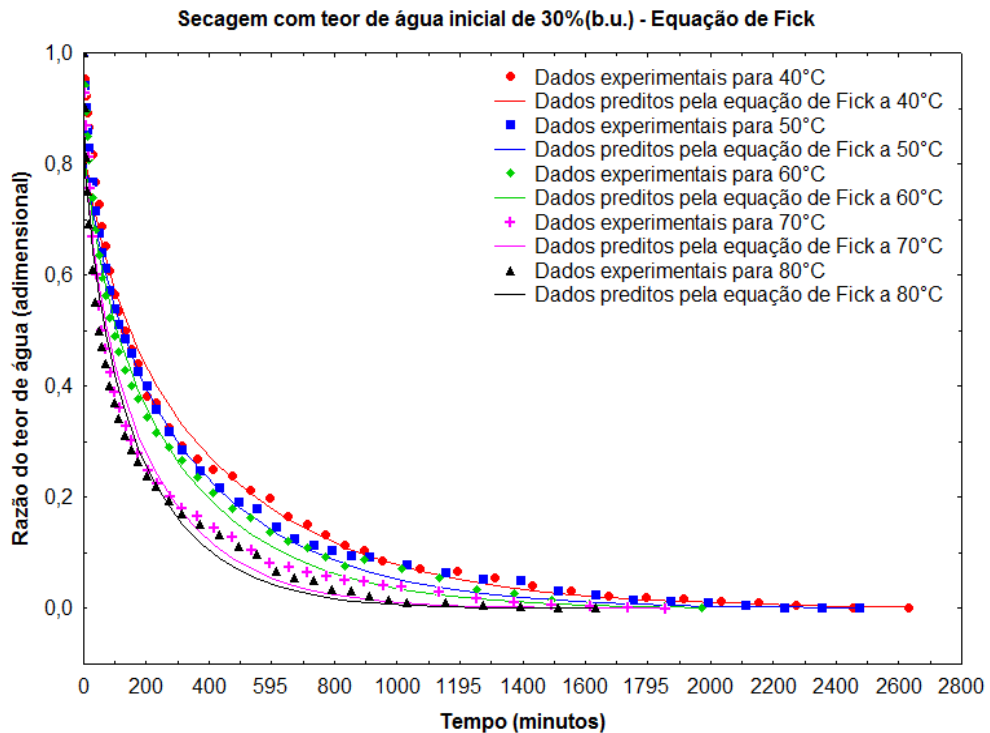


Figura 4.5 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Fick, para teor de água inicial 30% base úmida.

Na Tabela 4.1 encontram-se os parâmetros estimados e os coeficientes de determinação (R^2) obtidos por meio de ajustes da equação de Fick com seis termos. O menor coeficiente de determinação foi 97,66%, portanto considerado satisfatório, quanto aos gráficos residuais (Figuras A.1 a A3, Apêndice A) todos apresentaram comportamento tendencioso. Observa-se que a difusividade efetivo, com média de $5,734 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, aumenta com o acréscimo temperatura, esse comportamento também foi observado com secagem de milho em espiga (CORRÊA,2011). O valor da difusividade foi maior em relação ao trabalho realizado com soja em secagem de 40° a 100°C no qual se obteve valores entre $0,847 \times 10^{-11}$ a $3,46 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (BESSA et al. 2012) . Também com o mesmo produto a 140°C de secagem obteve-se valor maior de difusividade com $5 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (IRIGOYEN et al.,2014).

Tabela 4.1 – Coeficientes da equação de Fick para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados.

Equação de Fick			
$RX = \frac{6}{\pi^2} \cdot \exp\left[-\frac{\pi^2}{r^2} \cdot D \cdot t\right] + \frac{6}{4\pi^2} \cdot \exp\left[-\frac{4\pi^2}{r^2} \cdot D \cdot t\right] + \frac{2}{3\pi^2} \cdot \exp\left[-\frac{9\pi^2}{r^2} \cdot D \cdot t\right] +$ $\frac{3}{8\pi^2} \cdot \exp\left[-\frac{16\pi^2}{r^2} \cdot D \cdot t\right] + \frac{6}{25\pi^2} \cdot \exp\left[-\frac{25\pi^2}{r^2} \cdot D \cdot t\right] + \frac{1}{6\pi^2} \cdot \exp\left[-\frac{36\pi^2}{r^2} \cdot D \cdot t\right]$			
Teor de água inicial (% b.u.)	T (°C)secagem	D_{ef} (x10⁻¹¹m². s⁻¹)	R²
20	40	3,418	98,01
	50	3,825	97,76
	60	4,232	97,66
	70	5,859	98,62
	80	8,975	99,43
25	40	3,435	98,33
	50	3,992	98,52
	60	5,046	98,39
	70	6,193	98,40
	80	8,487	98,40
30	40	4,232	98,91
	50	5,046	99,21
	60	5,859	99,04
	70	8,301	98,81
	80	9,115	98,98

Nas Figuras 4.6 a 4.8 encontram-se as curvas de secagem para as temperaturas e teores de água iniciais estabelecidas, com os valores experimentais e os estimados pela equação de Henderson & Pabis.

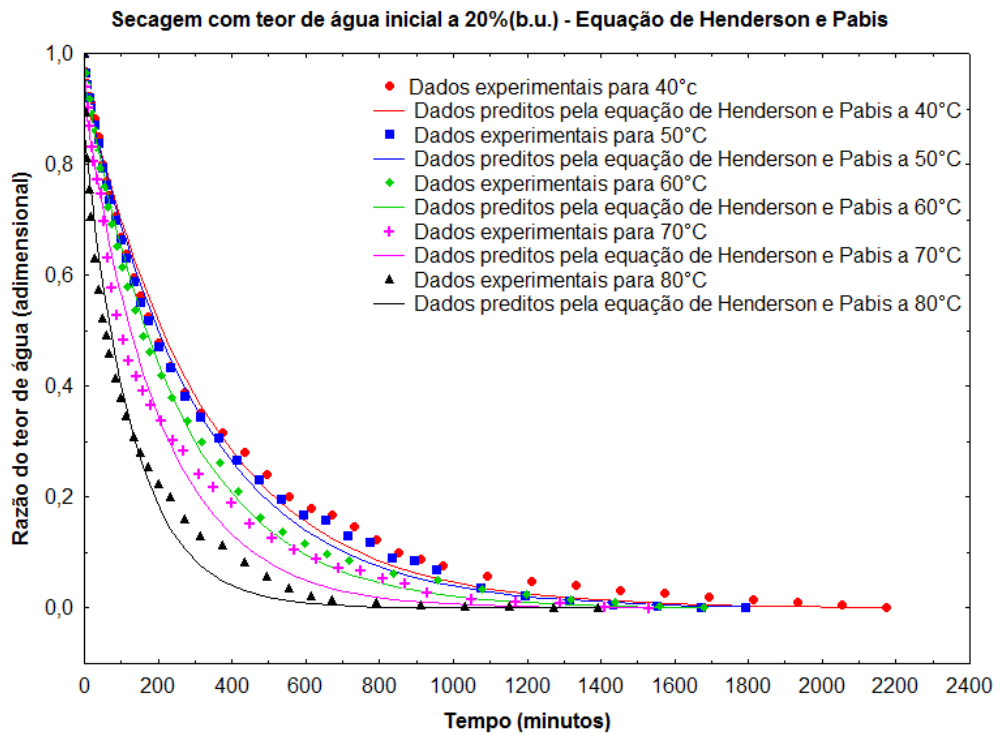


Figura 4. 6 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Henderson e Pabis, para teor de água inicial 20% base úmida

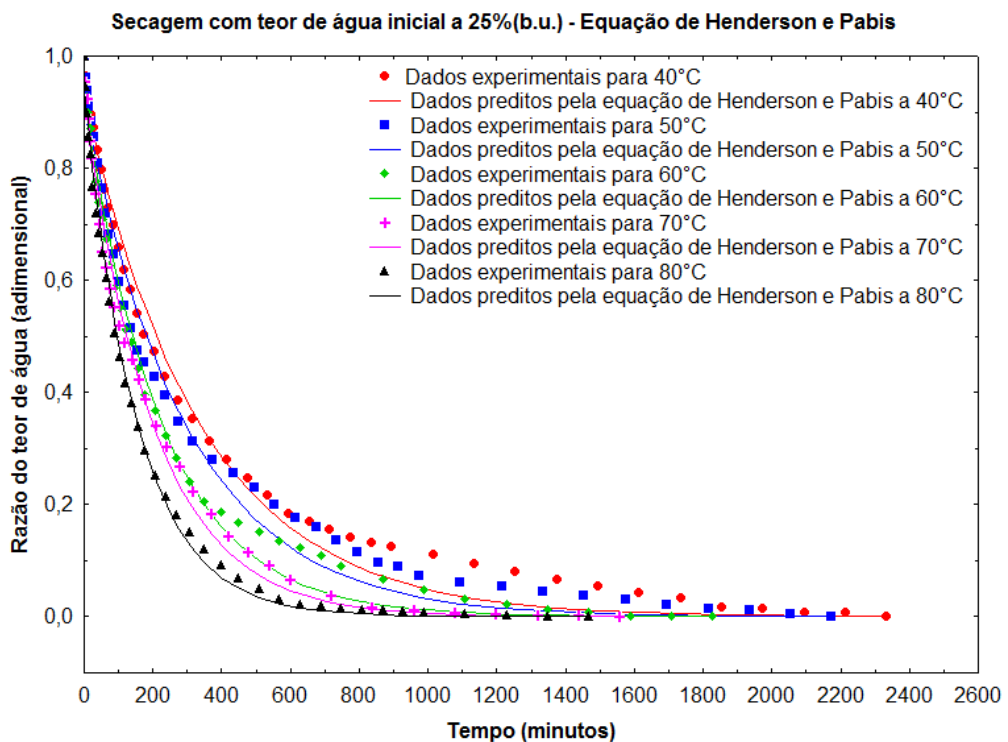


Figura 4. 7 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Henderson e Pabis, para teor de água inicial 25% base úmida.

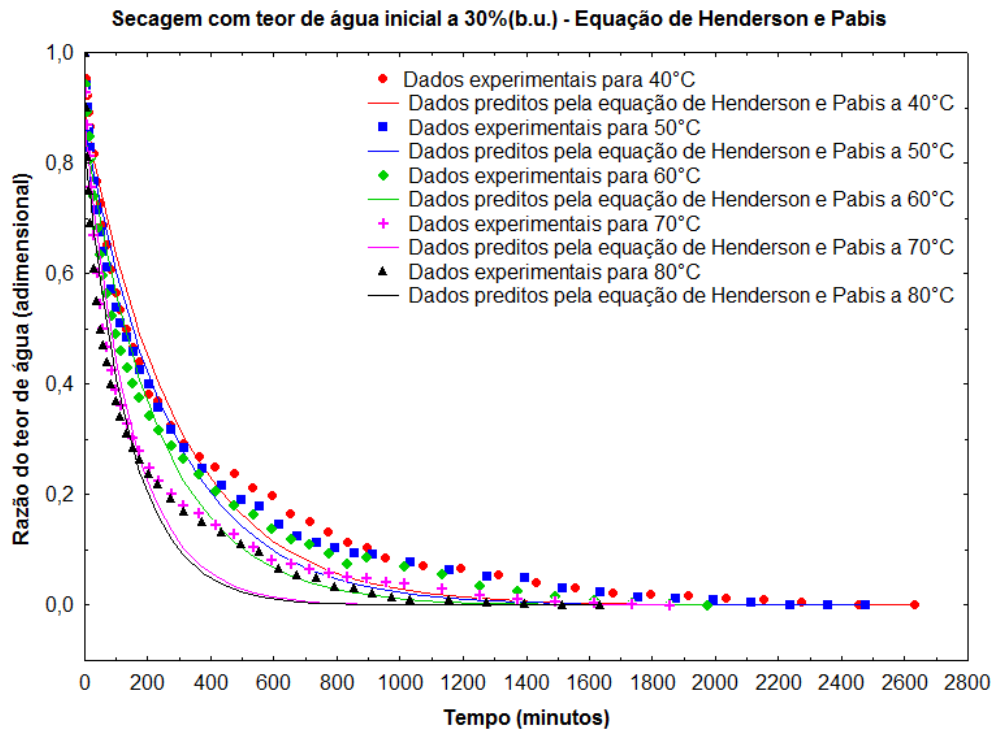


Figura 4. 8 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Henderson e Pabis, para teor de água inicial 30% base úmida.

Na Tabela 4.2 encontram-se os parâmetros estimados e os coeficientes de determinação (R^2) obtidos por meio de ajustes da equação de Henderson e Pabis. Os coeficientes de determinação foram considerados satisfatórios, sendo o menor valor de 95,45%, porém de acordo com os gráficos de resíduos (Figuras A.4 a A.6 do Apêndice A) apresentam comportamentos tendenciosos. Observa-se ainda que o parâmetro k aumenta com a elevação da temperatura essa conduta também pode ser verificada em outros produtos como a secagem de grãos de abóbora de 40 a 80°C (DIÓGENES et al., 2013).

Tabela 4.2 – Coeficientes da equação de Henderson e Pabis para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados.

Equação de Henderson e Pabis				
$RX = a \exp(-k \cdot t)$				
Teor de água inicial (% b.u.)	T (°C) secagem	a	k	R² (%)
20	40	0,94535	0,00301	99,40
	50	0,94736	0,00318	99,55
	60	0,95453	0,00384	99,65
	70	0,91476	0,00484	98,52
	80	0,86116	0,00766	97,69
25	40	0,93055	0,00295	98,77
	50	0,91728	0,00334	98,19
	60	0,93003	0,00439	98,93
	70	0,9281	0,00498	99,14
	80	0,94271	0,00649	99,7
30	40	0,89103	0,00341	97,48
	50	0,86804	0,00363	97,60
	60	0,85951	0,00425	96,41
	70	0,87417	0,00681	96,01
	80	0,83312	0,00707	95,45

Nas Figuras 4.9 a 4.11 encontram-se as curvas de secagem para as temperaturas e teores de água iniciais estabelecidas, com os valores experimentais e os estimados pela equação de Page.

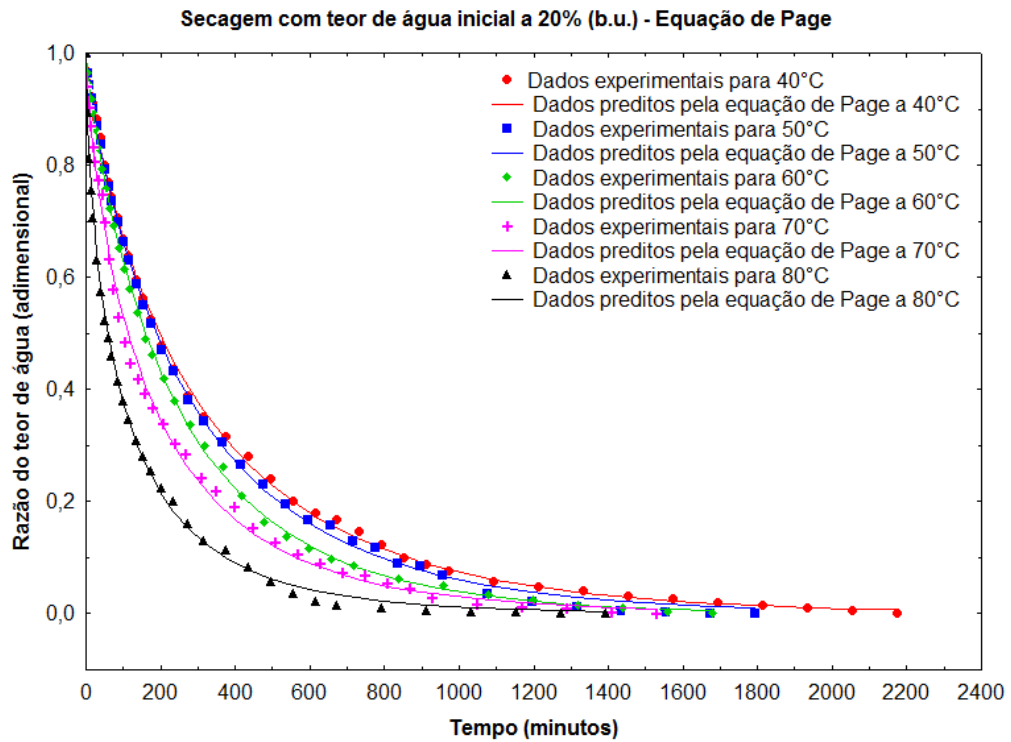


Figura 4. 9 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Page , para teor de água inicial 20% base úmida.

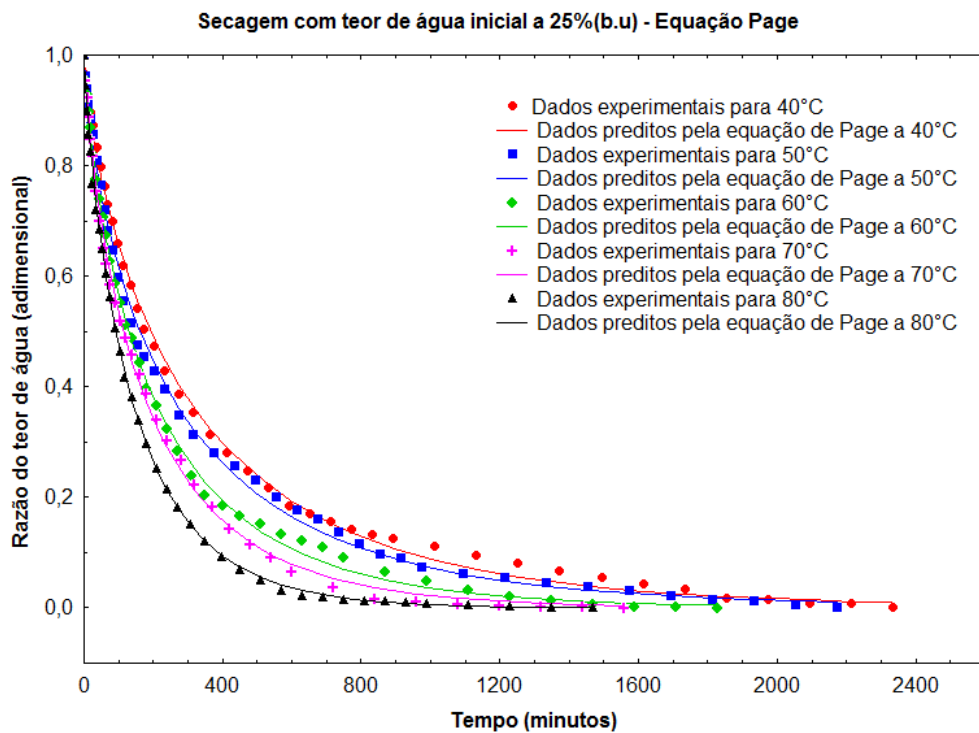


Figura 4. 10 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Page , para teor de água inicial 25% base úmida.

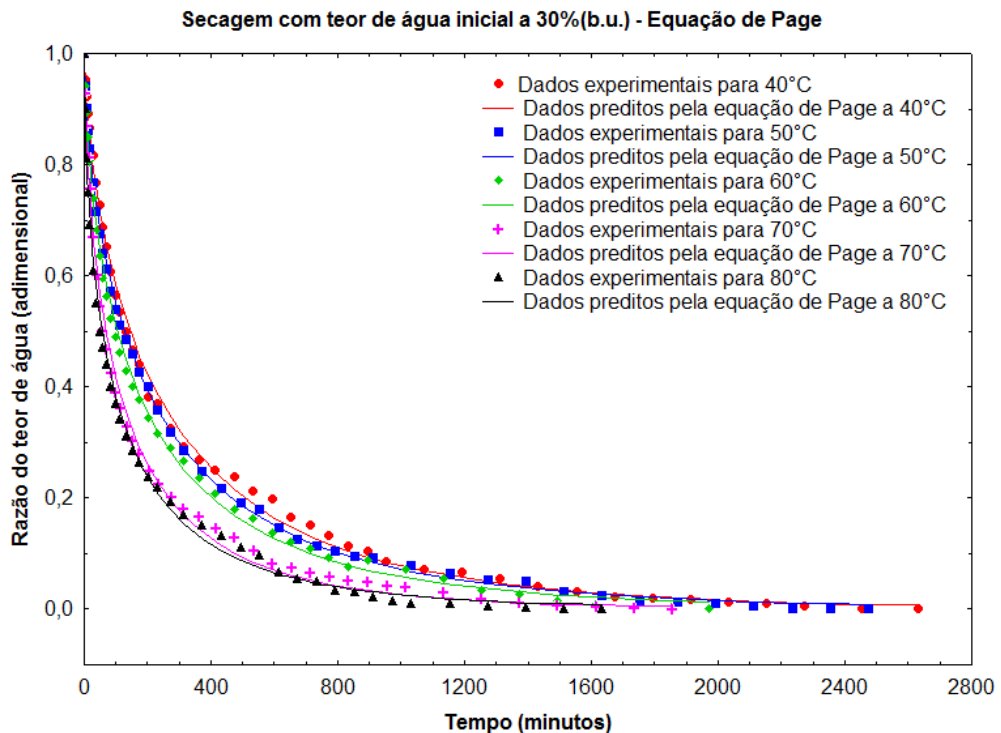


Figura 4. 11 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Page , para teor de água inicial 30% base úmida.

Na Tabela 4.3 encontram-se os parâmetros estimados e os coeficientes de determinação (R^2) obtidos por meio de ajustes da equação de Page. Os parâmetros obtiveram valores aleatórios, com coeficientes de variação de 68,39% e 12,14% para k e n respectivamente e coeficiente de determinação satisfatório. Os gráficos de resíduos (Figuras A.7 a A.9 do Apêndice A) apresentaram mesmo comportamento indicado em Midilli.

MÖHLER (2010) avaliou a secagem de grãos de soja a 60, 90 e 120°C para a equação de Page e obteve resultados semelhantes com o parâmetro “ k ” variando entre 0,017496 a 0,050326 e “ n ” entre 0,655287 e 0,971099.

MANCILLA et al. (2011) avaliando a secagem de morangos obteve para o coeficiente de determinação ao ajuste de equação de Page valores entre 90,15% e 94,59%, menores que os encontrados neste trabalho. Enquanto, KESTER et al. (2012) com estudo de secagem de soja obtiveram coeficientes maiores que 99% e consideraram a equação que melhor se ajustou a cinética.

Tabela 4.3 – Coeficientes da equação de Page para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados.

Equação de Page				
$RX = \exp(-k t^n)$				
Teor de água inicial (% b.u.)	T (°C)secagem	k	n	R²
20	40	0,009335	0,815053	99,94
	50	0,008759	0,834467	99,94
	60	0,009408	0,846836	99,97
	70	0,020601	0,744245	99,72
	80	0,048438	0,651856	99,87
25	40	0,012783	0,759427	99,83
	50	0,016916	0,729834	99,73
	60	0,016533	0,767490	99,85
	70	0,016850	0,784153	99,83
	80	0,015838	0,835673	99,96
30	40	0,023986	0,675459	99,71
	50	0,030044	0,647896	99,89
	60	0,037668	0,625990	99,70
	70	0,050388	0,619830	99,41
	80	0,066263	0,580764	99,61

Nas Figuras 4.12 a 4.14 encontram-se as curvas de secagem para as temperaturas e teores de água iniciais estabelecidas, com os valores experimentais e os estimados pela equação de Cavalcanti Mata.

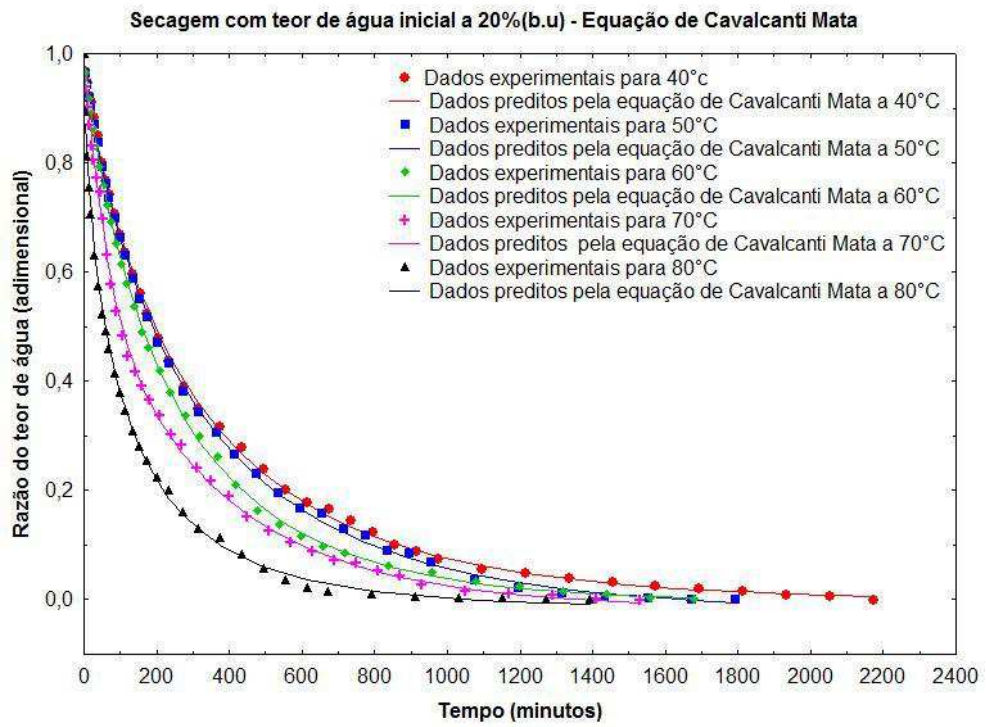


Figura 4. 12 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação de Cavalcanti Mata, para teor de água inicial 20% base úmida.

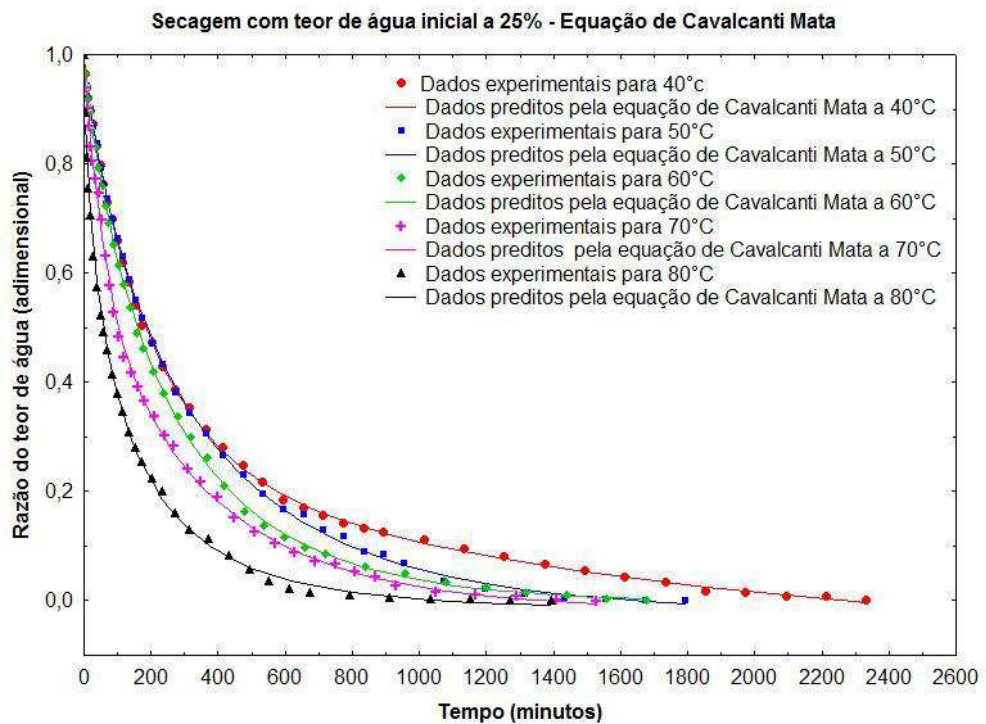


Figura 4. 13 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação de Cavalcanti Mata, para teor de água inicial 25% base úmida.

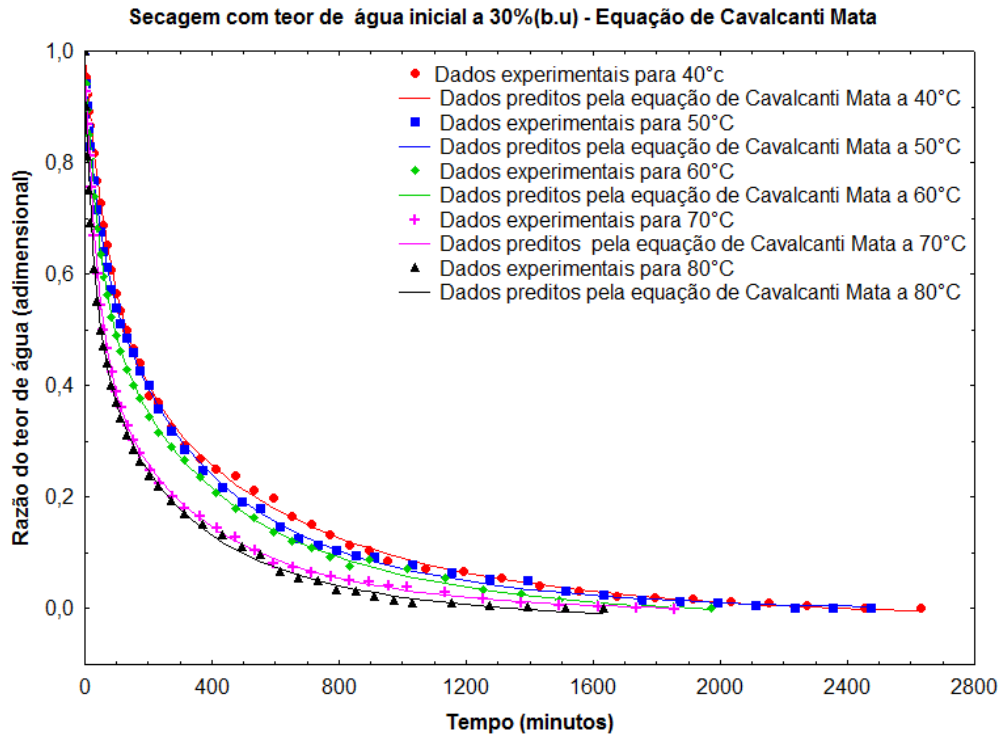


Figura 4. 14 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação de Cavalcanti Mata, para teor de água inicial 30% base úmida.

Na Tabela 4.4 encontram-se os parâmetros estimados e os coeficientes de determinação (R^2) obtidos por meio de ajustes da equação de Cavalcanti Mata. Todos os coeficientes apresentaram valores maiores que 99% representando um ajuste satisfatório. Trabalhos realizados com ajustes para equação de Cavalcanti Mata como secagem de bananas desidratadas ALMEIDA (2013) e feijão preto GOUVEIA et al. (2011) também obtiveram resultados satisfatórios com o coeficiente de determinação superior a 99%. Porém quanto à análise dos resíduos, (Figuras A.10 a A.12 do Apêndice A) apresentaram comportamentos principalmente tendenciosos.

Quanto aos parâmetros a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 e b apresentaram-se de maneira geral aleatório. Obteve-se o maior coeficiente de variação com 69,31% para o parâmetro b representado pela média de 0,017573, enquanto o coeficiente a_2 com menor variação 19,73% e média de 0,834413. Os parâmetros e coeficientes de determinação aproximaram-se aos trabalhos realizados com espuma de polpa de mandacaru, MELO et al. (2013) e grão de algaroba (SILVA et al., 2012).

Tabela 4.4 – Coeficientes da equação de Cavalcanti Mata para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados.

Equação de Cavalcanti Mata								
$RX=a_1 \exp(-b t^{a_2})+a_3 \exp(-b t^{a_4})+a_5$								
Teor de água inicial (% b.u.)	T (°C) secagem	a1	a2	a3	a4	a5	b	R ² (%)
20	40	0,5073	0,7954	0,5073	0,7954	-0,0021	0,0106	99,95
	50	0,5152	0,7966	0,5152	0,7966	-0,0222	0,0104	99,96
	60	0,5016	0,8658	0,5098	0,8142	-0,0069	0,0097	99,97
	70	0,2995	1,1983	0,6985	0,8634	-0,0195	0,0070	99,86
	80	0,5136	0,6241	0,5136	0,6241	-0,0154	0,0541	99,91
25	40	0,6514	0,9356	0,5352	0,6439	-0,1880	0,0072	99,98
	50	0,5171	0,6940	0,5171	0,6939	0,0000	0,0216	99,79
	60	0,4666	0,7046	0,5858	0,9050	-0,0505	0,0120	99,94
	70	0,5171	0,7440	0,5171	0,7440	-0,0192	0,0203	99,87
	80	0,4996	0,8367	0,4994	0,8367	-0,0027	0,0156	99,96
30	40	0,6787	0,7647	0,3351	1,0756	-0,0193	0,0092	99,96
	50	0,8658	0,7116	0,1432	1,1363	-0,0047	0,0178	99,97
	60	0,7546	0,7106	0,2689	1,1042	-0,0212	0,0164	99,98
	70	0,3959	1,0853	0,6173	0,7149	-0,0095	0,0190	99,98
	80	0,3025	1,0489	0,7254	0,6423	-0,0248	0,0327	99,95

Nas Figuras 4.15 a 4.17 encontram-se as curvas de secagem para as temperaturas e teores de água iniciais estabelecidas, com os valores experimentais e os estimados pela equação de Thompson.

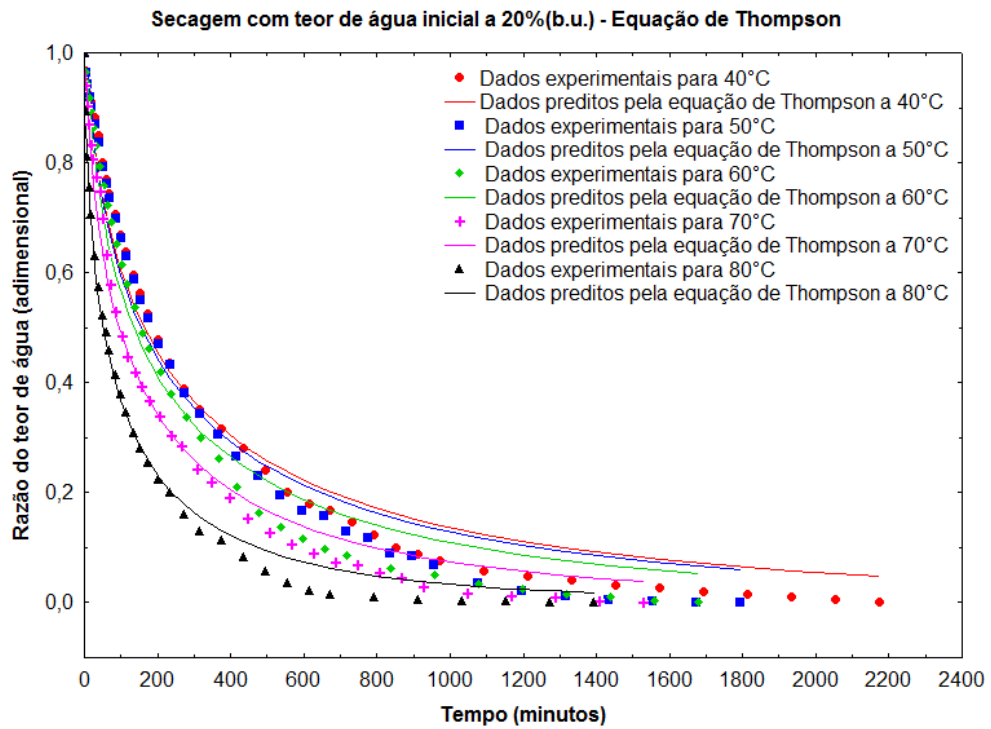


Figura 4. 15 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Thompson, para teor de água inicial a 20% base úmida.

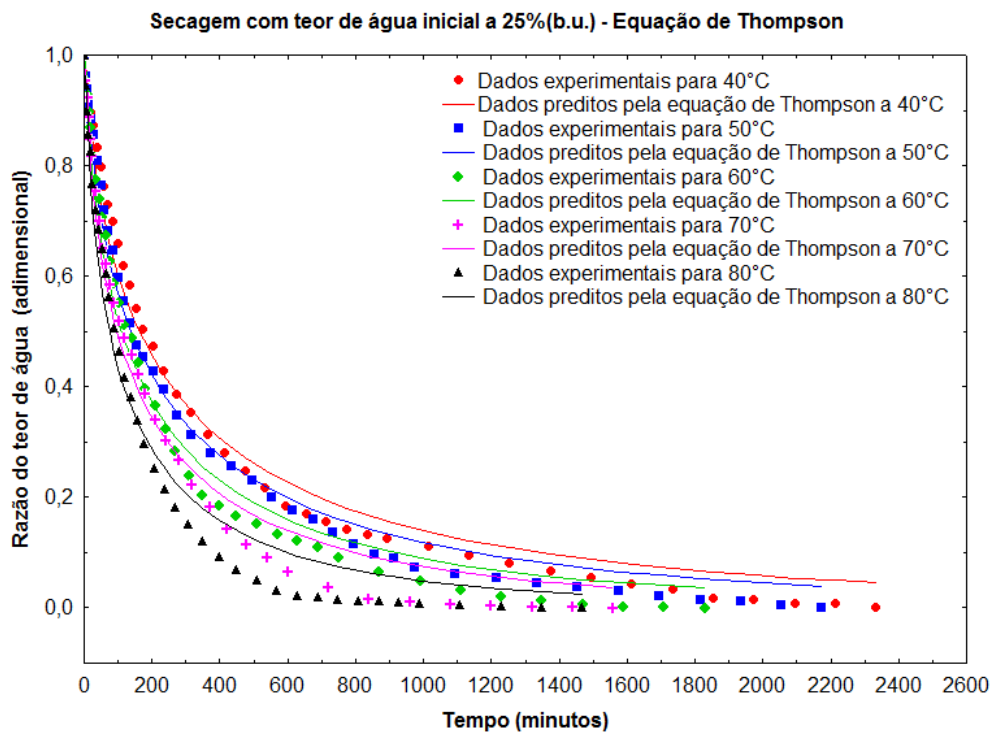


Figura 4. 16 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Thompson, para teor de água inicial a 25% base úmida.

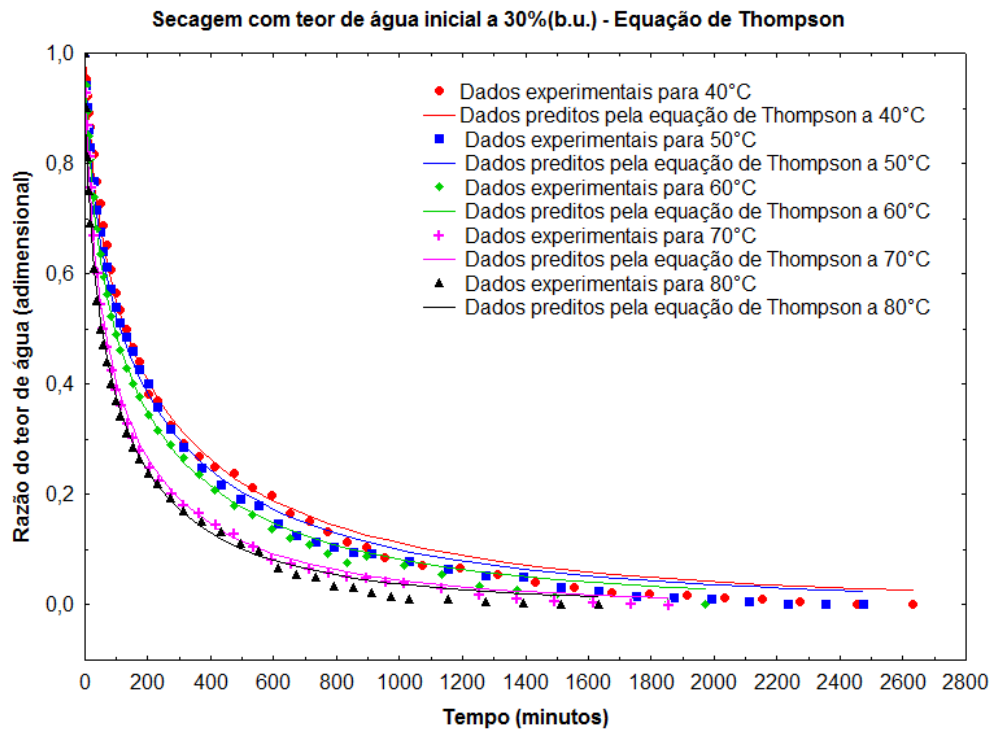


Figura 4. 17 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Thompson, para teor de água inicial a 30% base úmida.

Na Tabela 4.5 encontram-se os parâmetros estimados e os coeficientes de determinação (R^2) obtidos por meio de ajustes da equação de Thompson. De acordo com o coeficiente de determinação a equação foi satisfatória com menor valor de 98,20%, e parâmetros aleatório obtendo-se 24,8% e 30,34% de variação para os parâmetros A e B respectivamente. Ainda quanto ao parâmetro B observa-se uma redução no valor com o aumento da temperatura, fato semelhante acontece nos trabalhos com feijão (CAVALCANTI MATA, 1997; CAVALCANTI et al., 2012). Quanto aos gráficos de resíduos todos apresentaram comportamentos tendenciosos (Figura A.10 a A12 do Apêndice A), alguns autores também encontram esse comportamento em algumas temperaturas para pinhão manso (SIQUEIRA et al., 2012; RESENDE et al., 2011).

Tabela 4.5 – Coeficientes da equação de Thompson para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados.

Equação de Thompson				
$RX = A \ln(RX) + B(\ln(RX))^2$				
Teor de água inicial (% b.u.)	T (°C) secagem	a	b	R²
20	40	-0,187015	210,8523	98,52
	50	-0,187753	199,9711	98,20
	60	-0,190822	172,6677	98,24
	70	-0,162108	131,2982	98,82
	80	-0,103887	81,79683	99,40
25	40	-0,169154	219,7229	98,94
	50	-0,163468	189,1528	99,09
	60	-0,171037	148,9410	98,86
	70	-0,170968	130,3476	98,29
	80	-0,188754	96,44231	98,29
30	40	-0,139654	183,7967	99,42
	50	-0,116873	171,4020	99,57
	60	-0,109397	146,9430	99,61
	70	-0,111644	96,61662	99,56
	80	-0,076689	89,25932	99,70

Nas Figuras 4.18 a 4.20 encontram-se as curvas de secagem para as temperaturas e teores de água iniciais estabelecidas, com os valores experimentais e os estimados pela equação e Midilli.

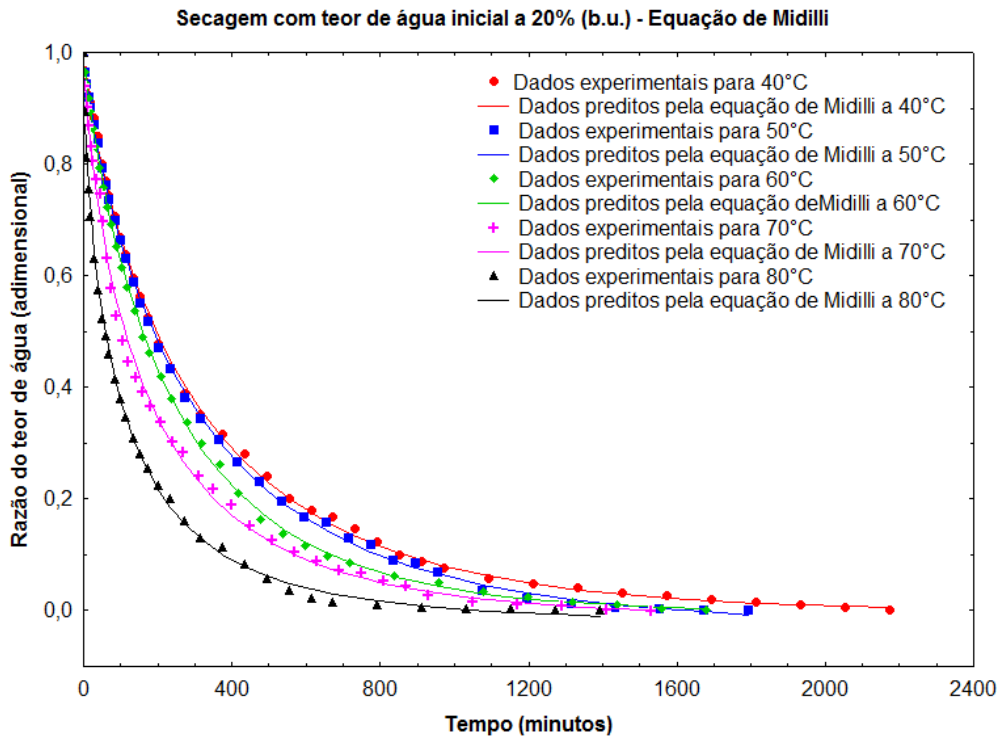


Figura 4. 18 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Midilli , para teor de água inicial 20% base úmida.

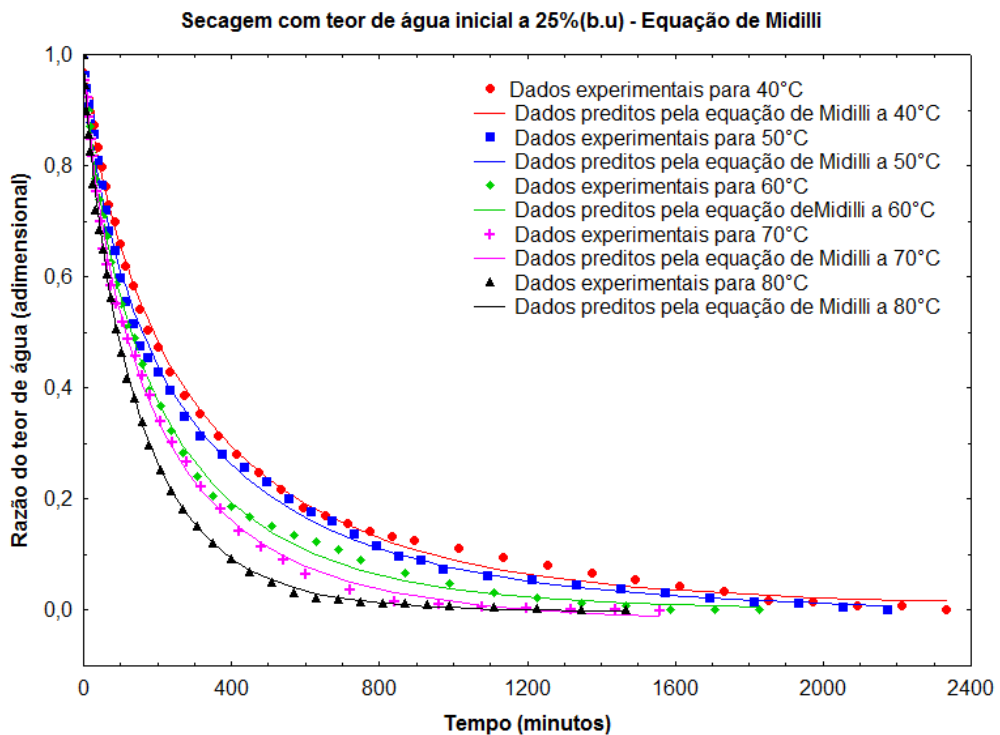


Figura 4. 19 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Midilli , para teor de água inicial 25% base úmida.

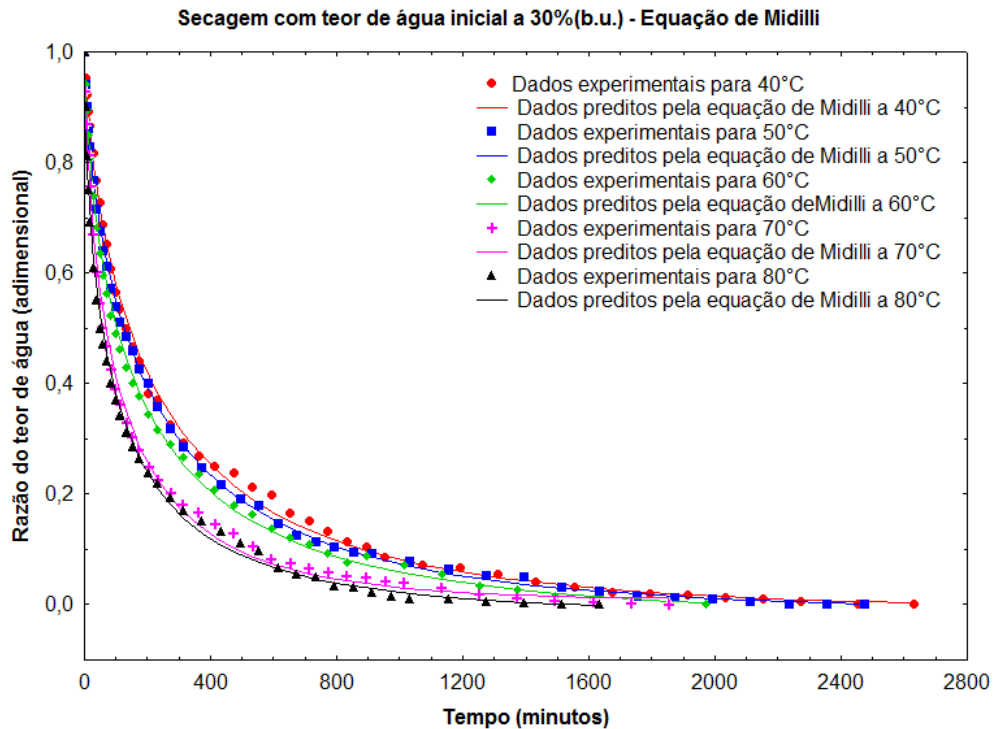


Figura 4. 20 - Curvas de secagem dos dados calculados e experimentais para a equação Midilli , para teor de água inicial 30% base úmida.

Na Tabela 4.6 encontram-se os parâmetros estimados e os coeficientes de determinação (R^2) obtidos por meio de ajustes da equação de Midilli. Os parâmetros apresentam-se de maneira aleatória, sendo o k com maior coeficiente de variação a 69,38%. O coeficiente de determinação R^2 foi satisfatório apresentando-se maior que 99%, porém os gráficos de resíduos obtiveram na maior parte comportamentos tendenciosos (Figura A.10 a A12 do Apêndice A), para a secagem de 40,50 e 60°C a 20%(b.u.); 60° e 80°C a 25%(b.u.) e 50° a 30%(b.u.) no início do processo observa-se comportamento aleatório. Pesquisa com soja obteve melhor ajuste com Midilli a 60°C de temperatura de secagem sendo o R^2 maior que 99%, AOSANI (2007) e em trabalho realizado com grãos e farinha de urucum, SANTOS et al. (2014) encontrou parâmetros próximos ao ajuste da equação de Midilli para soja.

Tabela 4.6 – Coeficientes da equação de Midilli para as condições de secagem e teores de águas iniciais estudados.

Equação de Midilli $RX = a \exp (-k \cdot t^n) + bt$						
Teor de água inicial (% b.u.)	T (°C) secagem	a	k	n	b	R²(%)
20	40	1,012688	0,010621	0,794912	-0,000002	99,95
	50	1,006939	0,010244	0,804941	-0,000012	99,97
	60	1,005479	0,010063	0,835319	-0,000002	99,97
	70	1,020127	0,024530	0,714112	-0,000007	99,74
	80	1,009979	0,053016	0,633396	-0,000011	99,90
25	40	1,022243	0,014893	0,738700	0,000003	99,87
	50	1,035397	0,022057	0,689657	-0,000002	99,79
	60	1,021407	0,019511	0,741355	0,000000	99,88
	70	1,012594	0,019639	0,755426	-0,000011	99,87
	80	0,995555	0,015365	0,840368	-0,000001	99,96
30	40	1,039925	0,031497	0,634054	-0,000003	99,78
	50	1,024226	0,036006	0,618669	-0,000004	99,92
	60	1,040099	0,048723	0,584093	-0,000007	99,78
	70	1,050497	0,062143	0,589168	0,000004	99,54
	80	1,033906	0,078987	0,550230	-0,000008	99,67

4.3 - Simulação de secagem

A tabela 4.7 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 40°C e 20% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 24,28%; 10,67%; 7,34% e 19,97% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 2,08 |%; | 5,11|%; | 13,15|%; | 1,71|%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 0,37%, o que representa um teor de água de 10,06|%.

A tabela 4.8 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 40°C e 25% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 18,43%; 1,17%; 23,59% e 19,17% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 2,66 |%; | 2,1|%; | 10,02|%; | 1,29|%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 7,99%, o que representa um teor de água de 11,12|%.

A tabela 4.9 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 40°C e 30% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 24,92%; 4,45%; 16,30% e 17,96% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 4,5 |%; | 10,96|%; | 12,91|%; | 6,67|%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 2,77%, o que representa um teor de água de | 0,59|%.

A tabela 4.10 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 50°C e 20% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 6,95%; 0,25%; 21,00% e 21,39% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 0,78 |%; | 10,04|%; | 13,23|%; | 3,63|%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 10,51%, o que representa um teor de água de | 1,53|%.

A tabela 4.11 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 50°C e 25% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 7,79%; 2,78%; 23,16% e 17,92% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 0,84 |%; | 10,46|%; | 13,96|%; | 3,68|%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 13,77%, o que representa um teor de água de | 2,23|%.

A tabela 4.12 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 50°C e 30% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 3,99%; 1,31%; 20,19% e 15,29% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 0,53 |%; | 10,26|%; | 13,97|%; | 3,54|%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 11,01%, o que representa um teor de água de | 2,07|%.

A tabela 4.13 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 60°C e 20% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 11,74%; 7,22%; 7,25% e 22,12% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 1,01 |%; | 11,00|%; |

11,091%; 13,511%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 4,64%, o que representa um teor de água de 10,651%.

A tabela 4.14 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 60°C e 25% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 0,31%; 7,07%; 12,31% e 6,05% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: 10,031%; 11,041%; 12,271%; 11,191%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 6,90%, o que representa um teor de água de 11,121%.

A tabela 4.15 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 60°C e 30% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 7,99%; 17,30%; 14,78% e 11,86% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: 11,121%; 13,271%; 13,291%; 12,991%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 13,27%, o que representa um teor de água de 12,671%.

A tabela 4.16 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 70°C e 20% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 21,20%; 18,20%; 17,46% e 9,53% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: 11,741%; 12,611%; 12,911%; 11,721%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 9,60%, o que representa um teor de água de 11,381%.

A tabela 4.17 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 70°C e 25% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 14,33%; 23,96%; 23,97% e 22,81% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: 11,501%; 14,101%; 14,551%; 14,791%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 17,67%, o que representa um teor de água de 12,991%.

A tabela 4.18 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 70°C e 30% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 6,30%; 19,44%;

9,32% e 5,81% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 0,91 |%; | 3,97 |%; | 12,07 |%; | 11,45 |%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 10,24%, o que representa um teor de água de 12,10 |%.

A tabela 4.19 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 80°C e 20% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 104,8%; 4,69%; 15,89% e 12,02% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 5,11 |%; | 10,56 |%; | 12,48 |%; | 12,06 |%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 0,01%, o que representa um teor de água de 10 |%.

A tabela 4.20 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 80°C e 25% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 36,63%; 19,43%; 18,44% e 27,12% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 3,08 |%; | 12,94 |%; | 13,02 |%; | 15,32 |%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 13,77%, o que representa um teor de água de 12,05 |%.

A tabela 4.21 (Apêndice B) contendo os dados experimentais, dados simulados do SASSsoja e os respectivos desvios, com temperatura de secagem a 80°C e 30% de teor de água inicial. Observa-se que os desvios para cada camada são da ordem de 19,43%; 29,69%; 35,62% e 35,22% para a 1°, 2°, 3° e 4° camada respectivamente, que corresponde a uma diferença em termos percentuais de teor de água final e simulado de: | 2,18 |%; | 15,82 |%; | 18,07 |%; | 17,57 |%. O desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada é de 26,07%, o que representa um teor de água de 15,07 |%.

Pode-se observar maior desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada em 80°C a 30% assim como maior déficit percentual do teor de água final. Entretanto a 80°C e 20% apresenta maior desvio em relação a cada camada separadamente, na qual a 1° camada obteve desvio de 104% correspondendo a 5,11% de diferença de água entre experimental e simulado. Apesar de não simular satisfatoriamente a secagem de 80°C a 20% para cada camada, nessa temperatura e teor de água apresenta a melhor média de desvio médio para todos os intervalos de tempo e camada, também menor déficit de percentual de água.

Nas figuras 4.21 a 4.50 encontram-se as curvas de secagem dos dados experimentais e simulados. De acordo com as tabelas apresentadas anteriormente e as figuras correspondentes observa-se que embora as simulações das camadas não foram adequadas as médias simuladas foram satisfatória. Provavelmente esse comportamento deve-se aos ajustes da equação de equilíbrio higroscópico a qual foi estimada.

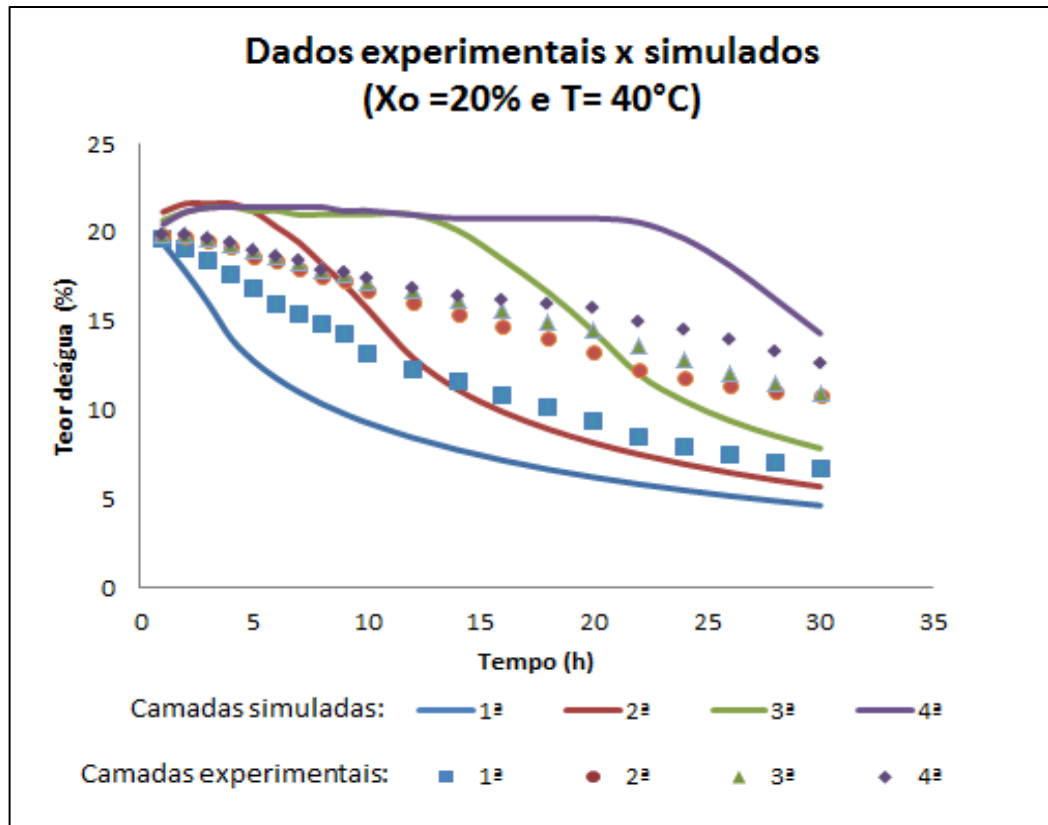


Figura 4. 21 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 40°C e 20%.

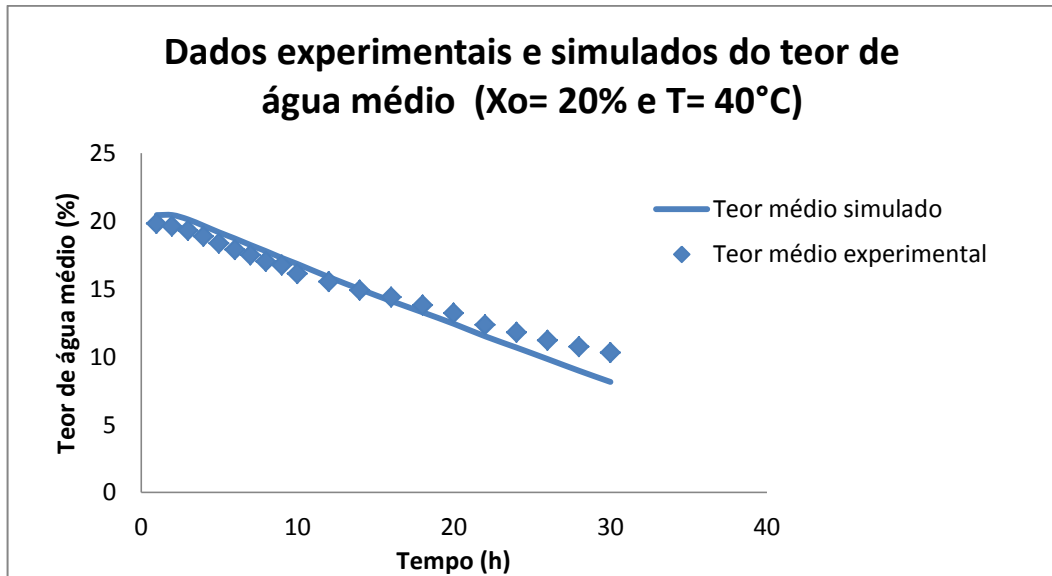


Figura 4. 22 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 40°C e 20%.

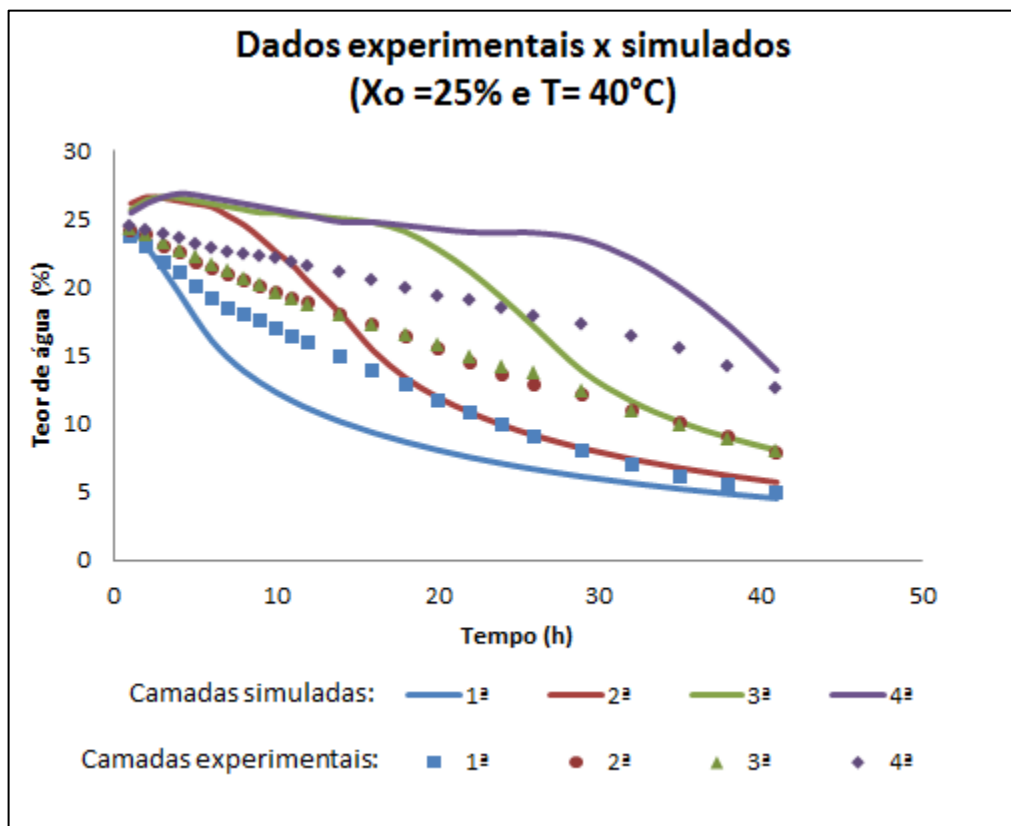


Figura 4. 23 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 40°C e 25%.

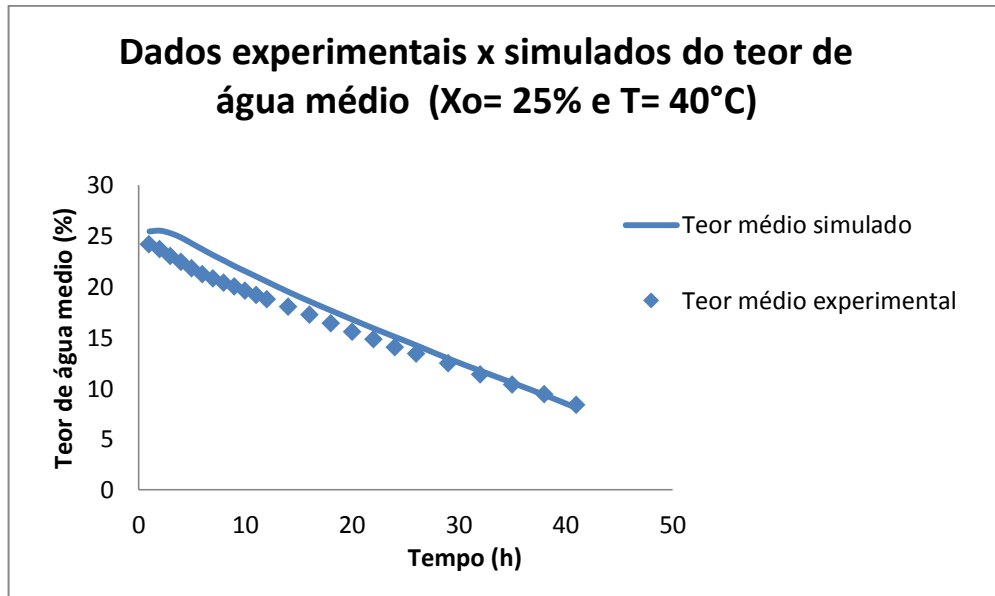


Figura 4. 24 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 40°C e 25%

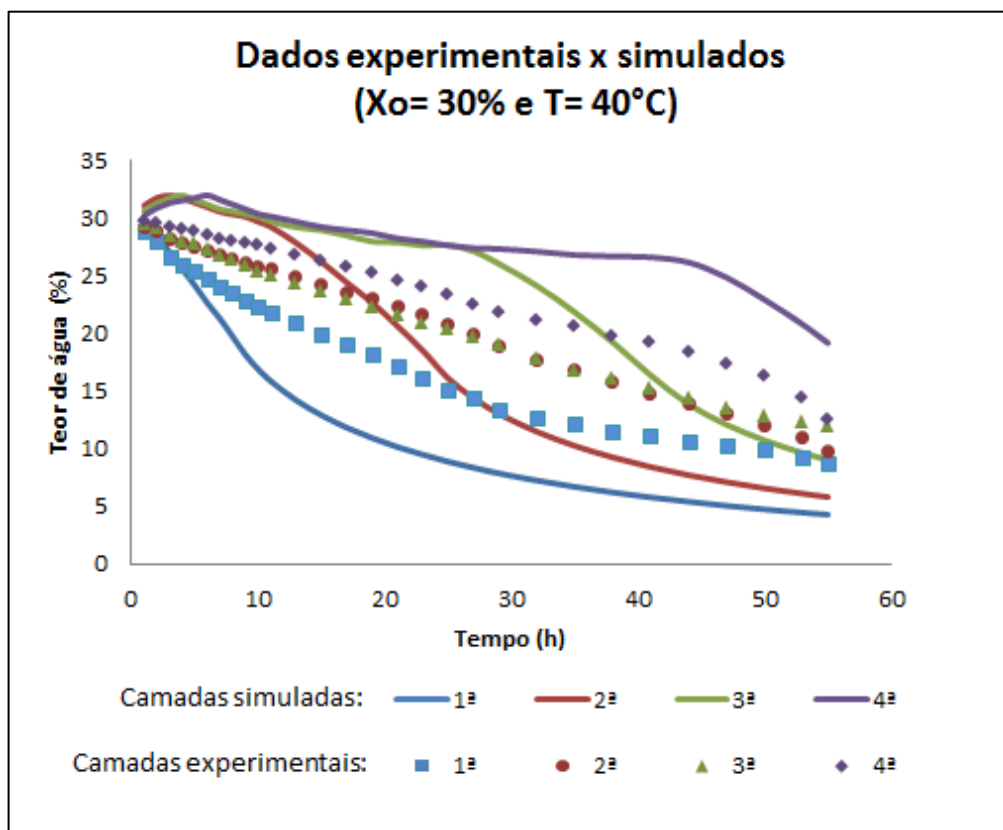


Figura 4. 25 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 40°C e 30%.

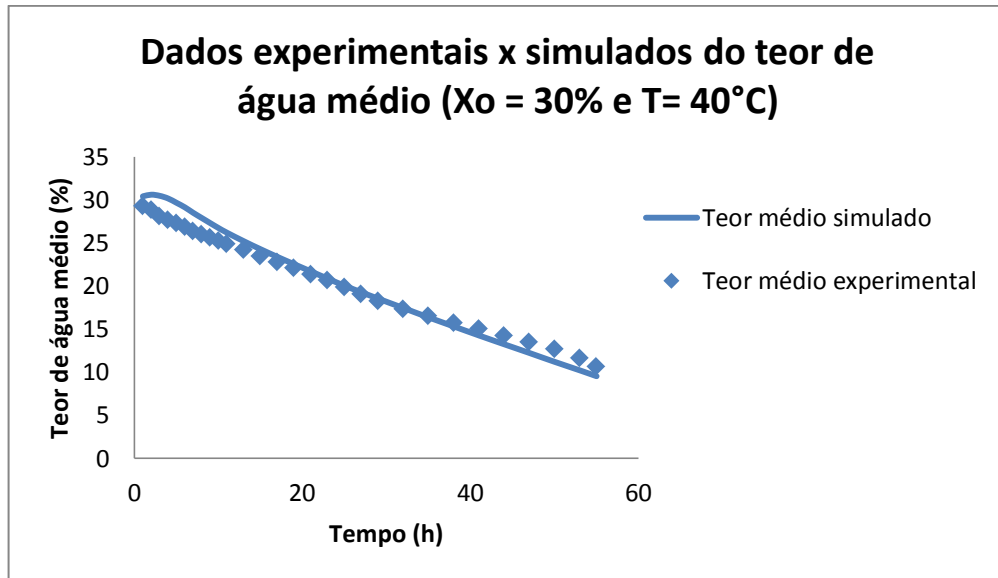


Figura 4. 26 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 40°C e 30%.

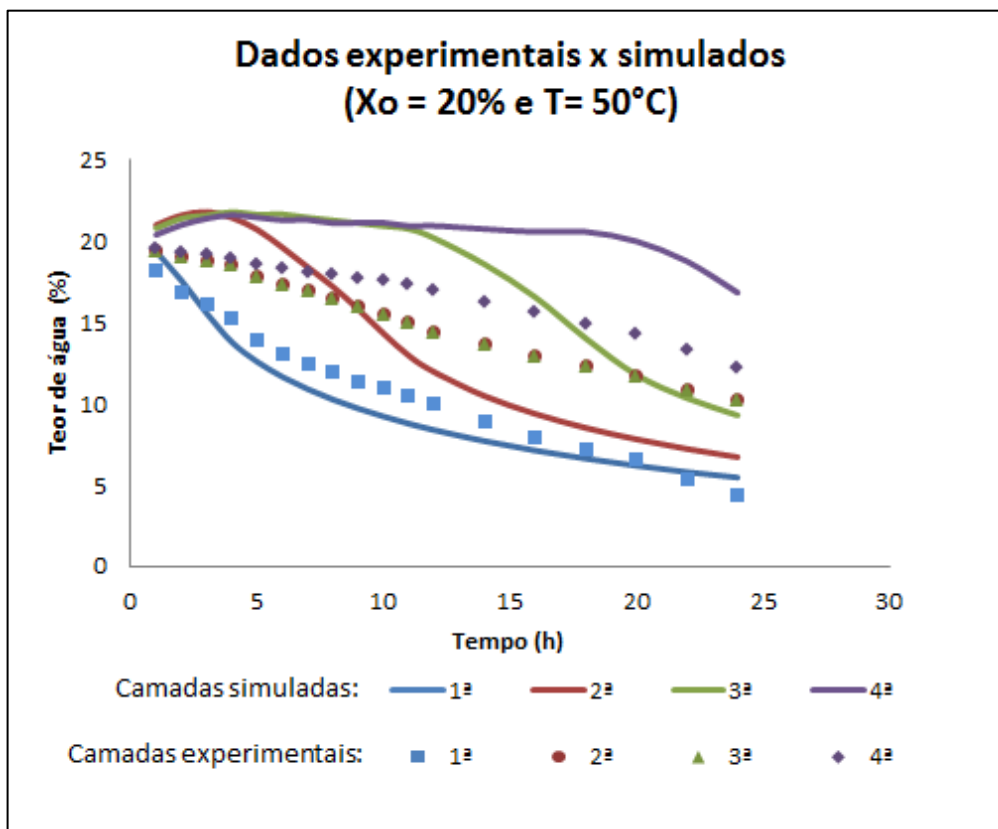


Figura 4. 27 – Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 50°C e 20%.

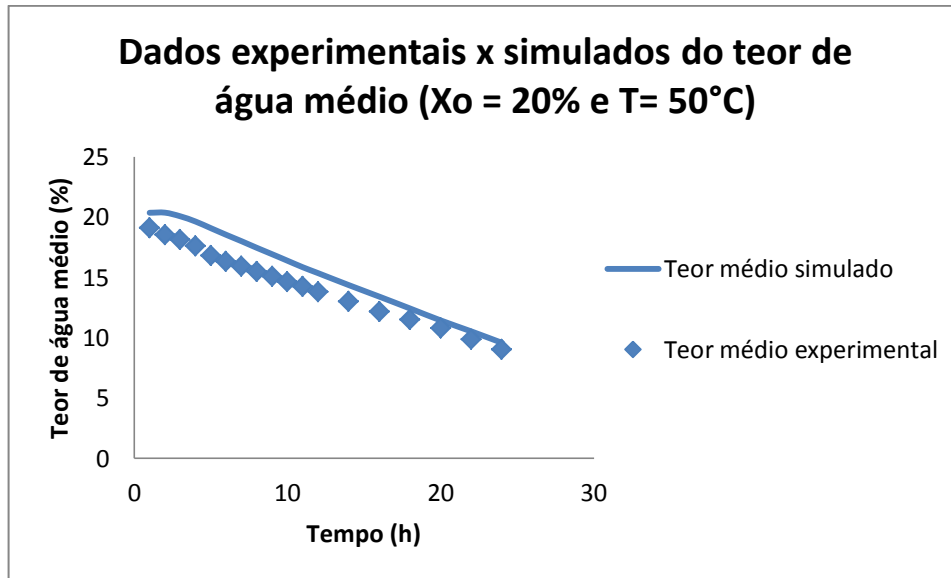


Figura 4. 28 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 50°C e 20%.

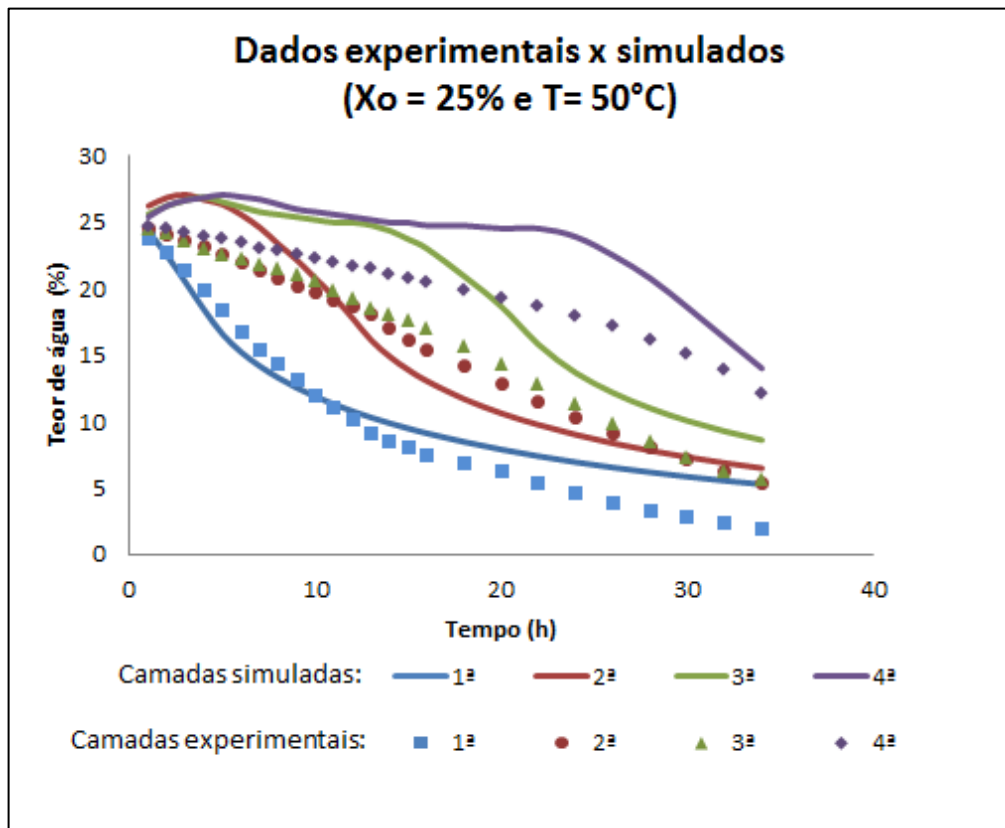


Figura 4. 29 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 50°C e 25%.

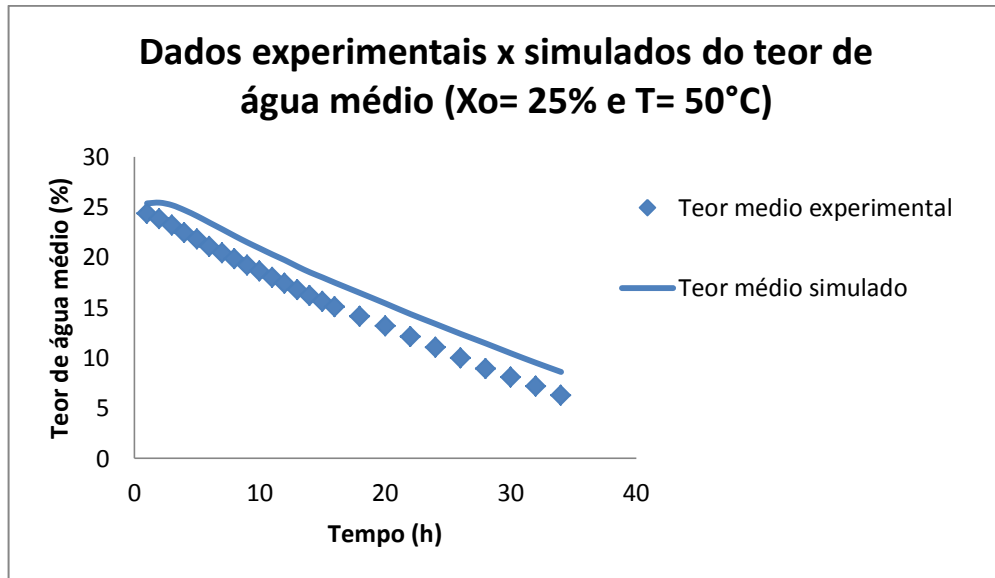


Figura 4. 30 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 50°C e 25%.

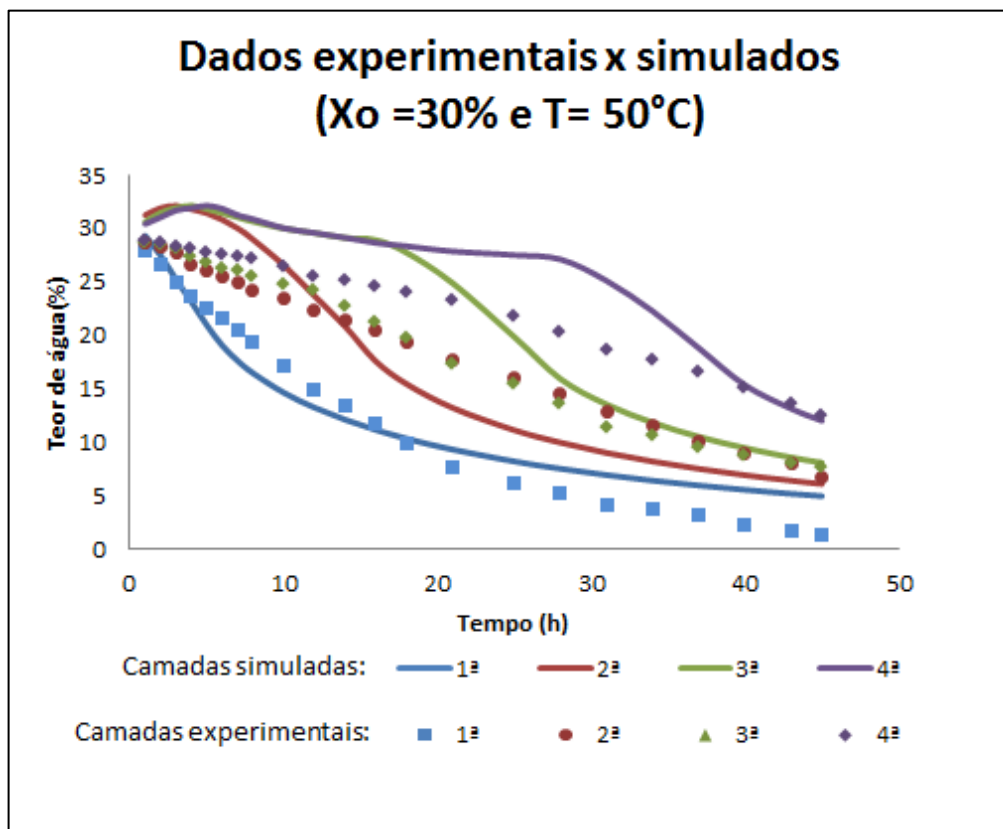


Figura 4. 31 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 50°C e 30%.

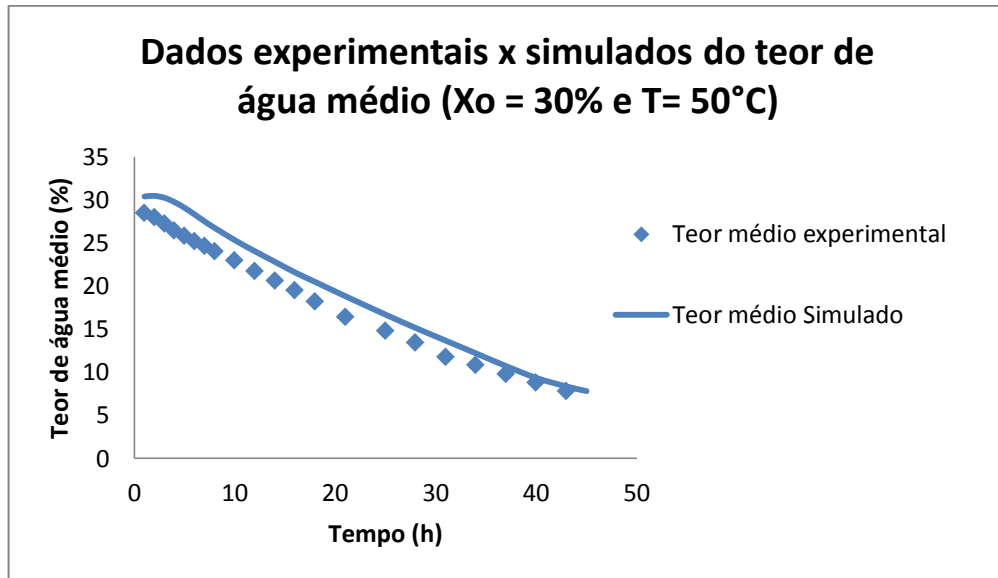


Figura 4. 32 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 50°C e 30%.

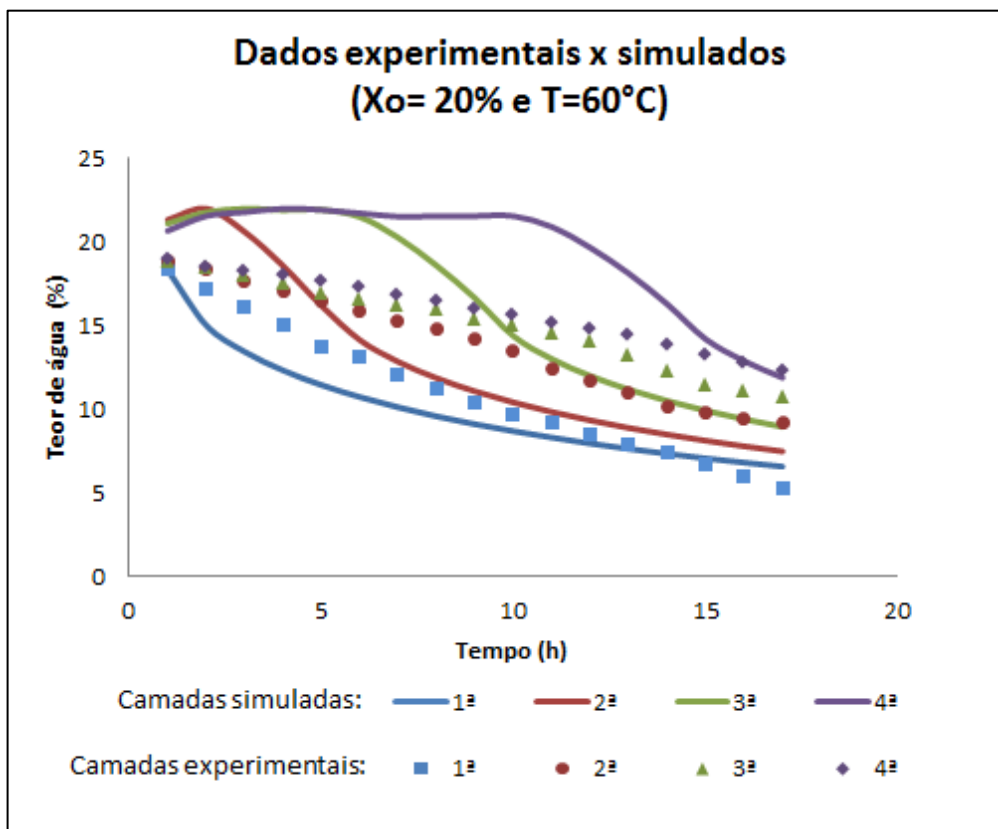


Figura 4. 33 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 60°C e 20%.

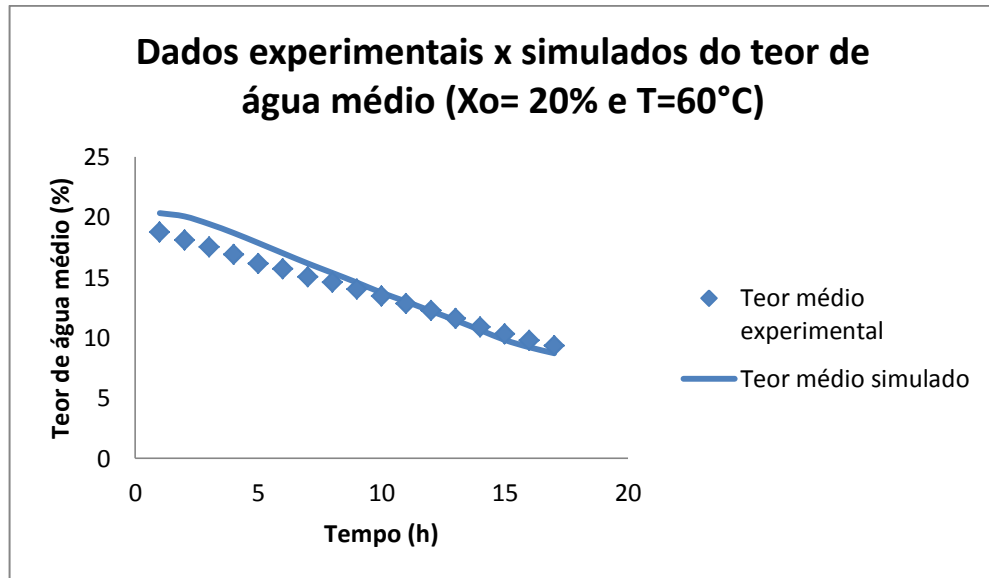


Figura 4. 34 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 60°C e 20% .

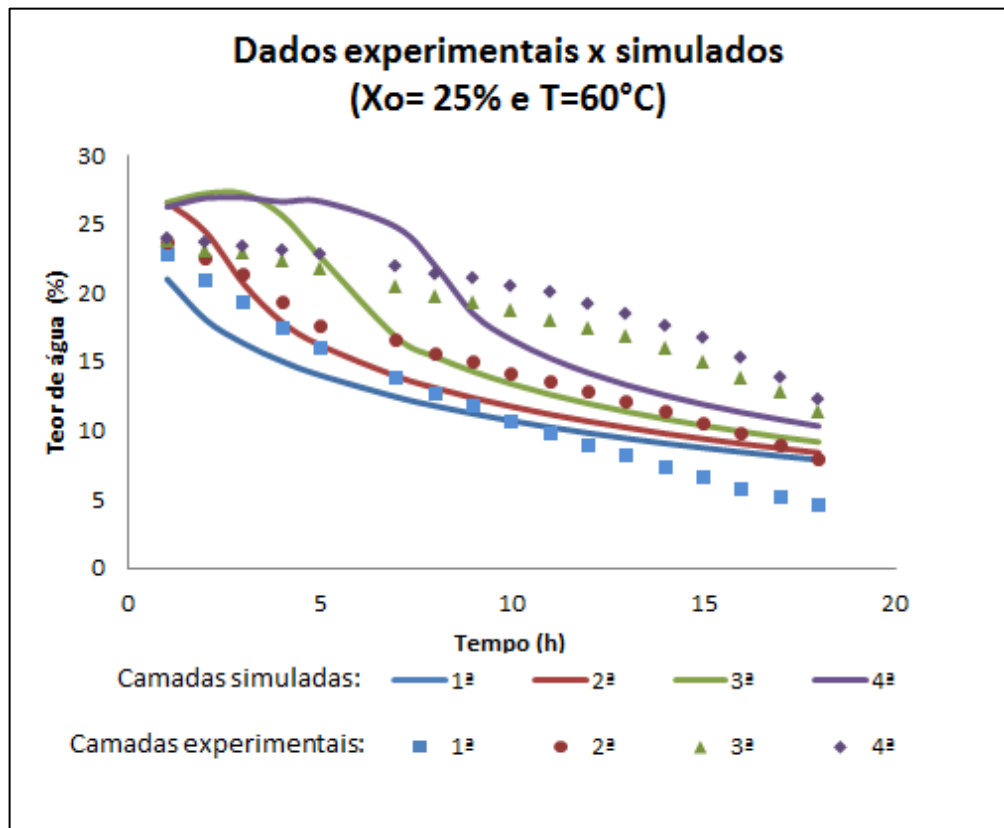


Figura 4. 35 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 60°C e 25% .

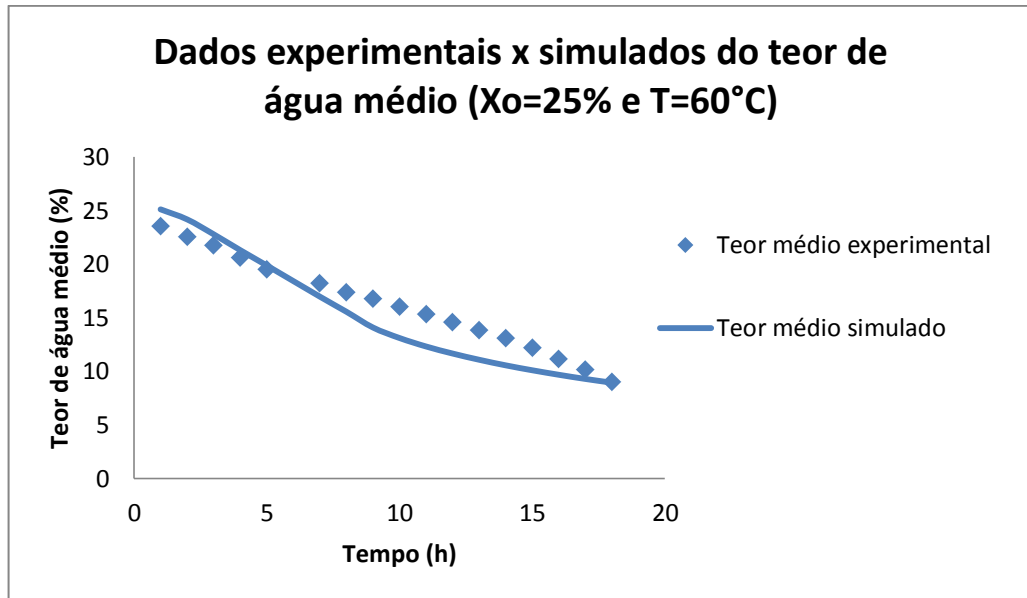


Figura 4. 36 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 60°C e 25%.

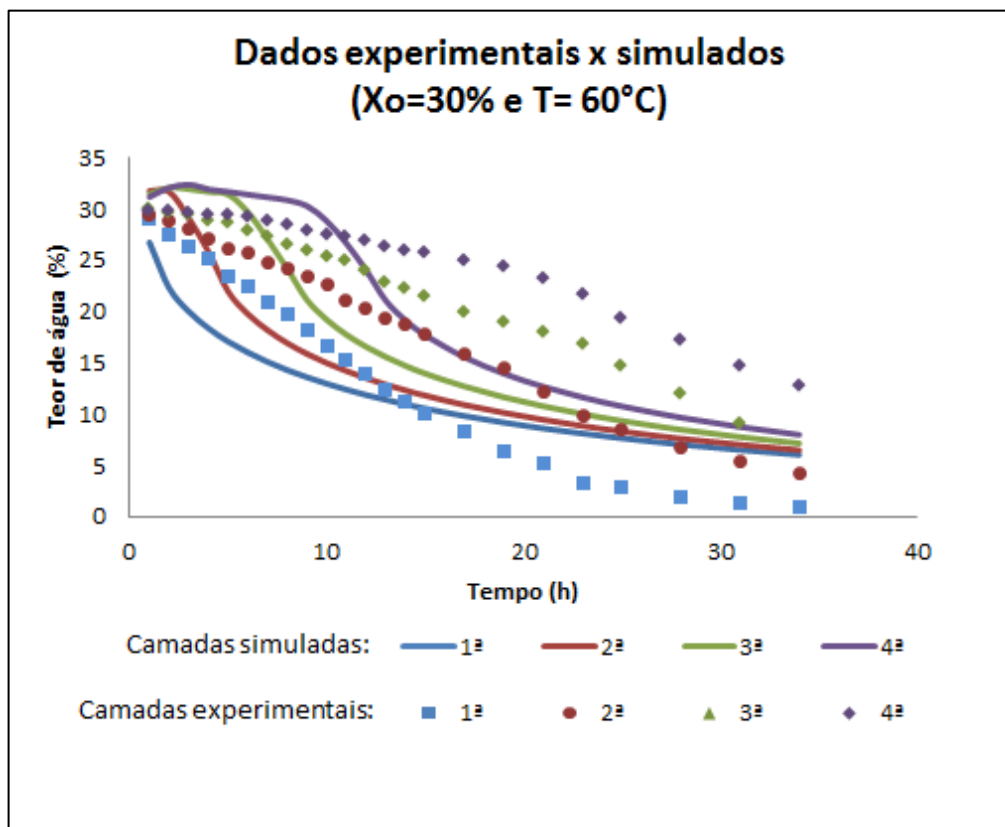


Figura 4. 37 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 60°C e 30%.

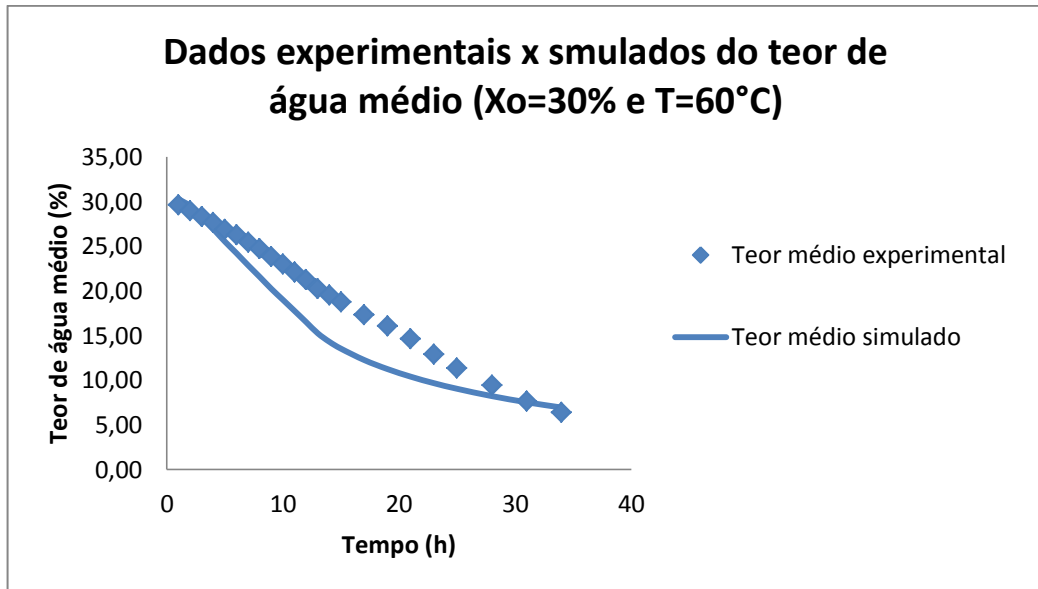


Figura 4. 38 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 60°C e 30%.

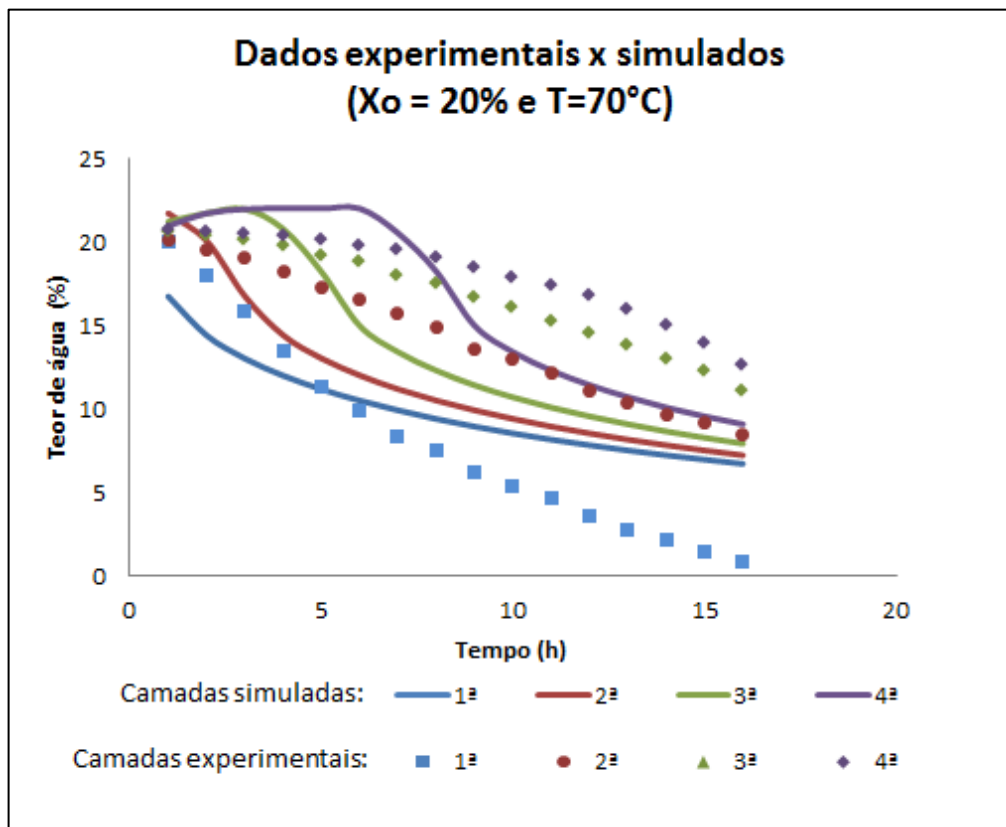


Figura 4. 39 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 70°C e 20%.

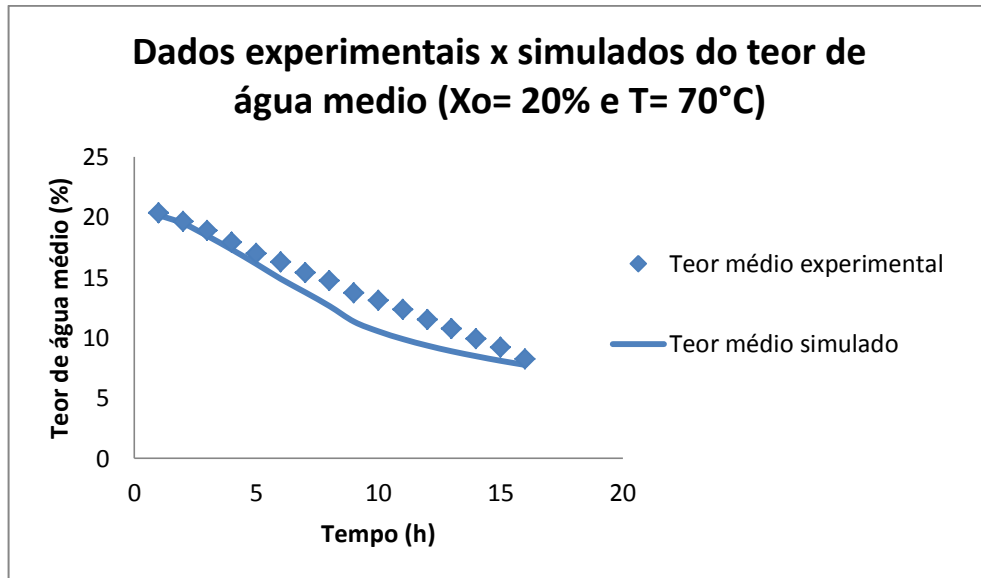


Figura 4. 40 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 70°C e 20%.

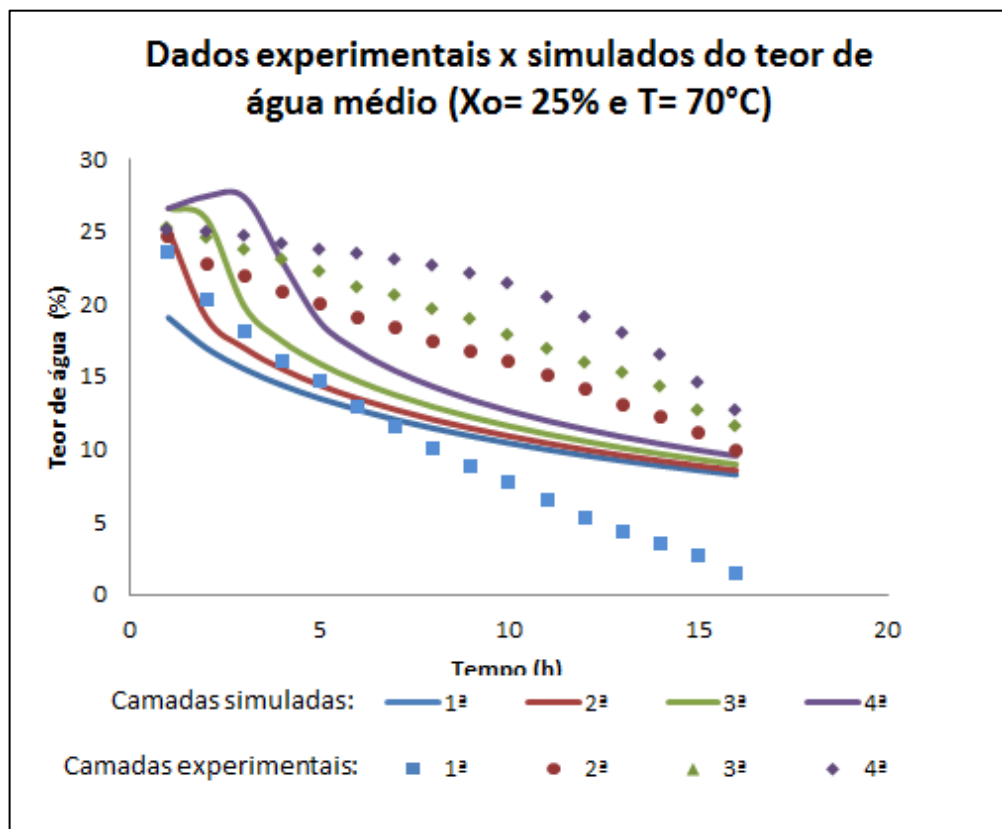


Figura 4. 41 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 70°C e 25%.

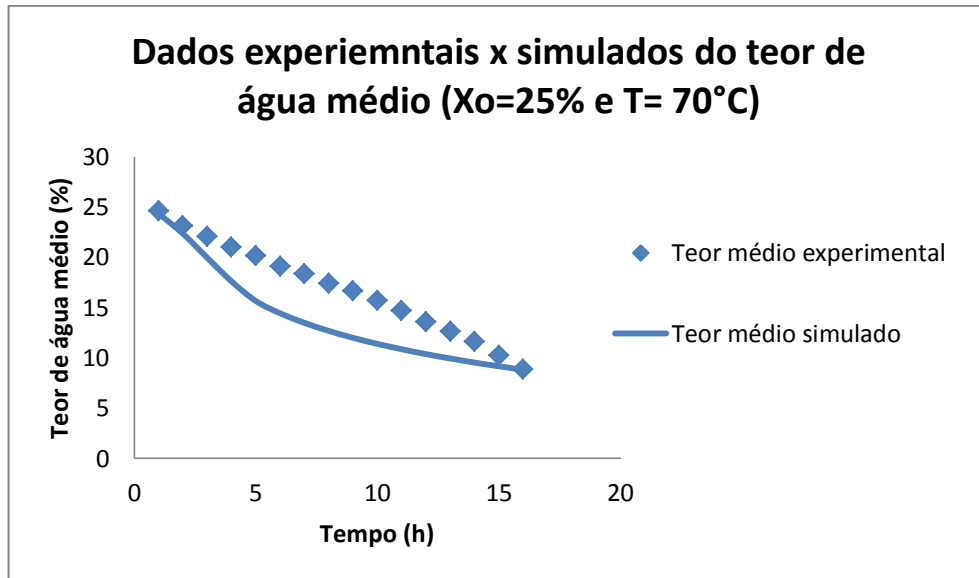


Figura 4. 42 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 70°C e 25%.

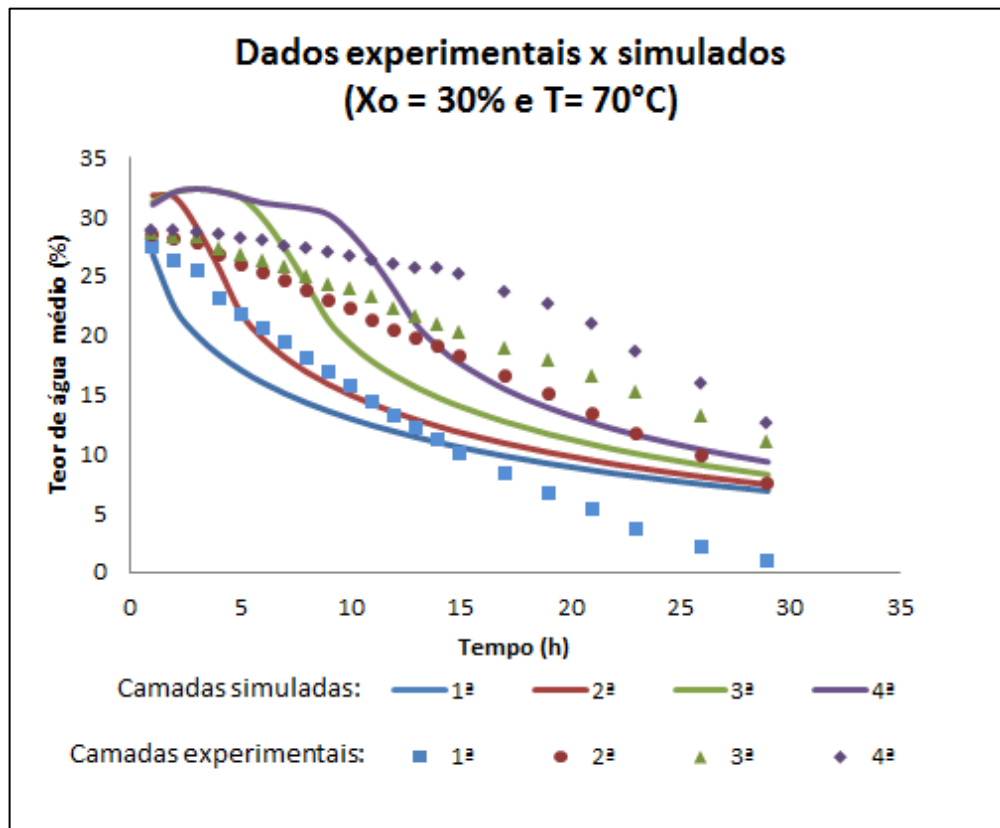


Figura 4. 43 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 70°C e 30%.

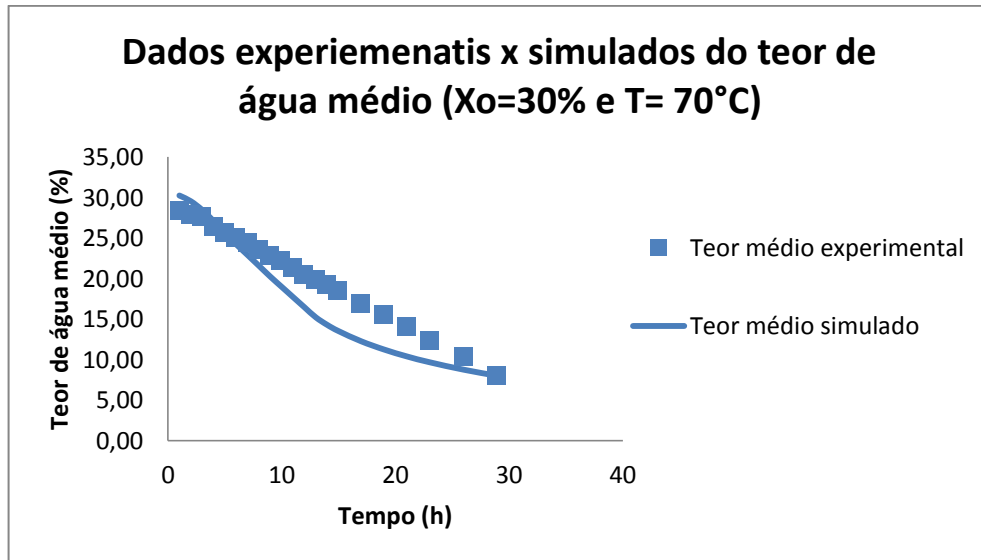


Figura 4. 44 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 70°C e 30%.

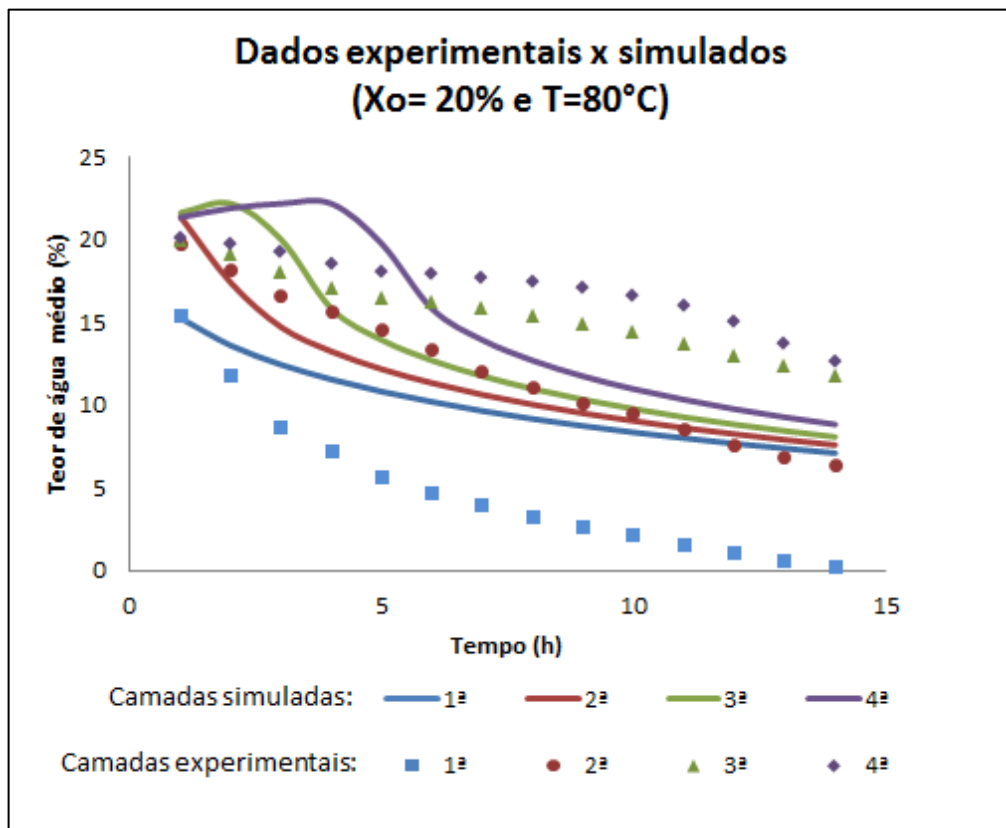


Figura 4. 45 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 80°C e 20%.

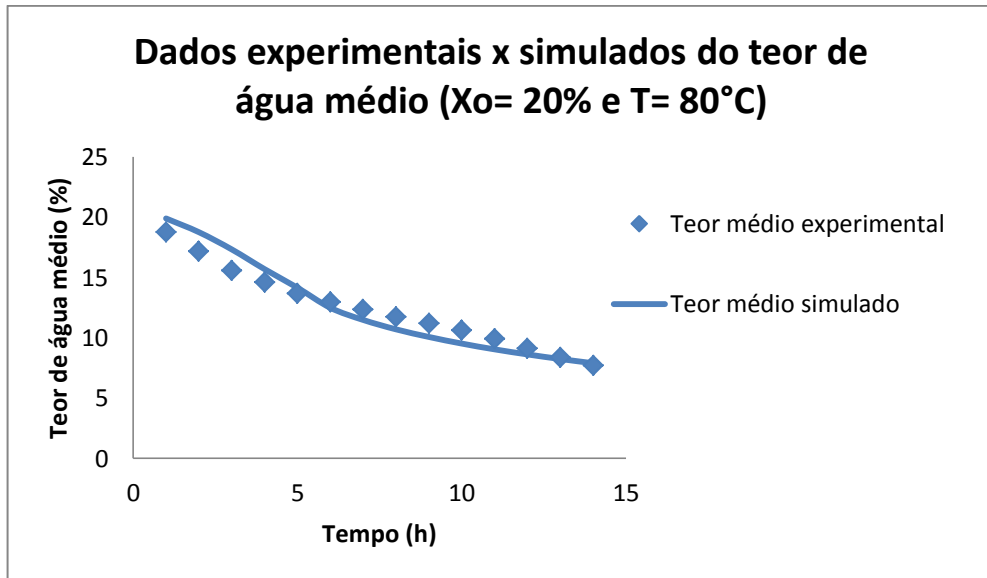


Figura 4. 46 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 80°C e 20%.

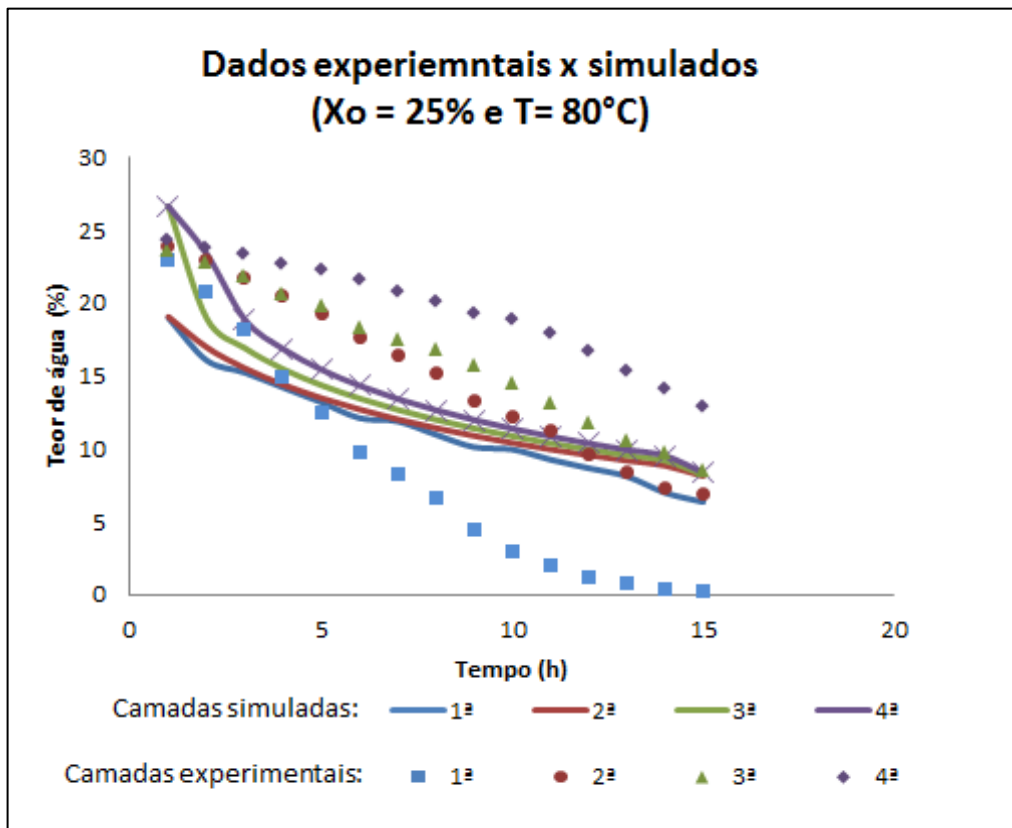


Figura 4. 47 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 80°C e 25%

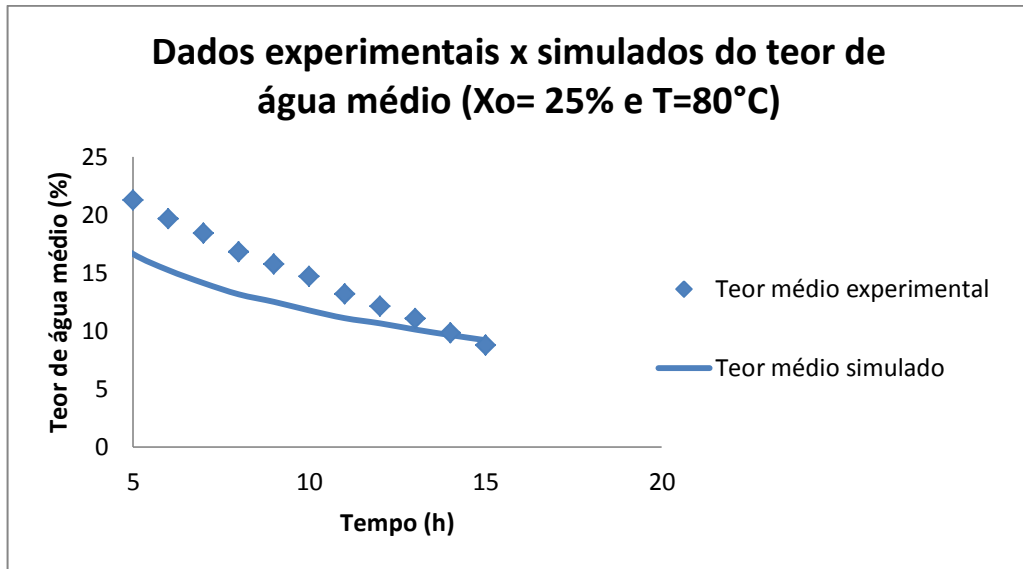


Figura 4. 48 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 80°C e 25%.

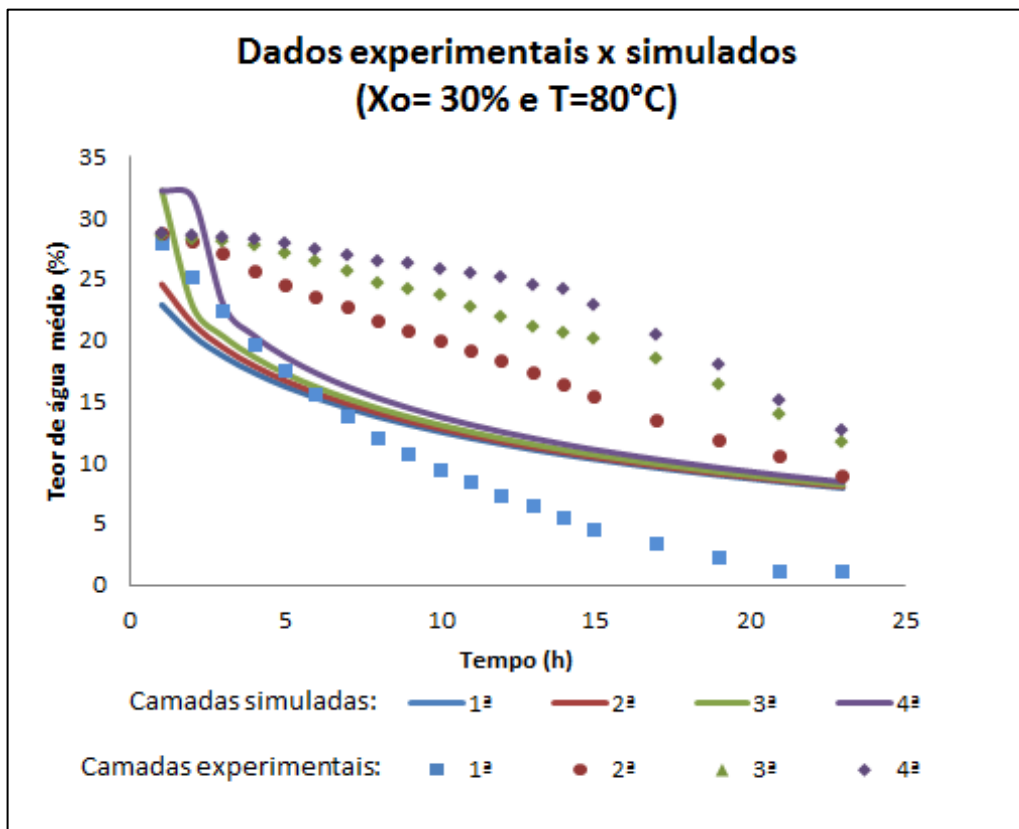


Figura 4. 49 - Curvas de secagem: dados das camadas experimentais e simuladas a 80°C e 30%.

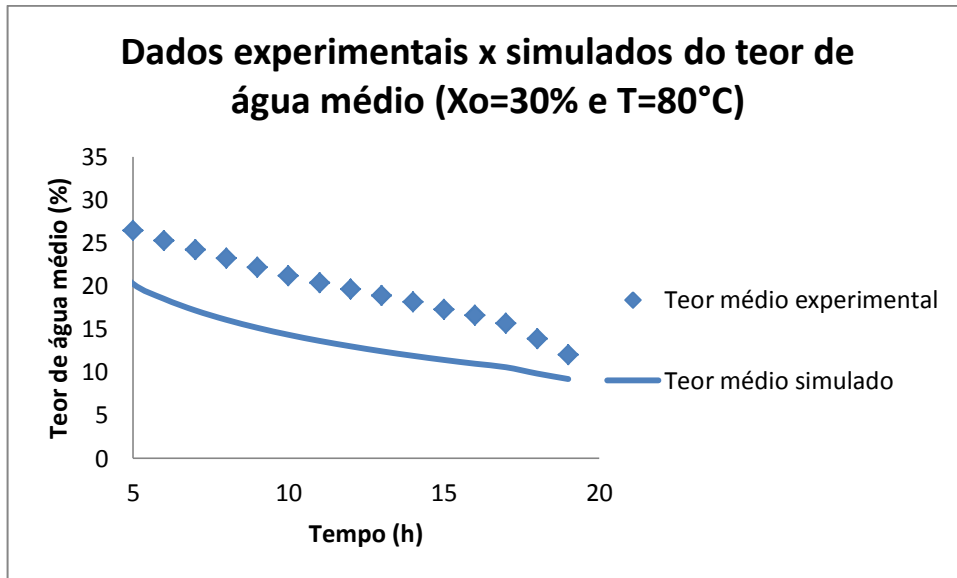


Figura 4. 50 - Curvas de secagem: teor de água médio dos dados experimentais e simulados a 80°C e 30%.

5.0 – CONCLUSÕES

- O programa desenvolvido simula satisfatoriamente os processos psicrométricos para secagem de soja na faixa de temperatura de 40 a 80°C e teor de água inicial entre 20 e 30%(b.u.), em secador de camada estacionária e utilizando-se o modelo de Thompson.
- A temperatura influencia diretamente, ocorrendo a secagem em menor tempo nas temperaturas mais elevadas.
- As equações de Page, Cavalcanti Mata e Midilli se ajustam satisfatoriamente aos dados experimentais de secagem de soja, com coeficientes de determinação superiores a 99%, embora todos os pontos plotados dos valores de resíduos versus valores preditos possuam principalmente comportamento tendencioso.
- Apesar das equações de Page, Cavalcanti Mata e Midilli se ajustarem satisfatoriamente, utilizou-se como equação de camada fina para a simulação de secagem, a equação de Thompson, pois representou melhor os dados da simulação.
- A simulação de secagem para o modelo de Thompson não representou adequadamente a secagem para cada camada, porém simulou satisfatoriamente os dados simulados e experimentais médios.
- O coeficiente de difusividade calculado pela equação de Fick aumenta com elevação da temperatura do ar de secagem, o mesmo acontece para o parâmetro k na equação de Henderson & Pabis. Enquanto o parâmetro b na equação de Thompson reduz com a diminuição da temperatura.

6.0 - REFERÊNCIAS

ACASIO, U. A., **Handling and storage of soybeans and soybean meal**. Department of Grain Science and Industry, Kansas State University, USA, 1997.

ALMEIDA, R. D. **Desidratação osmótica com secagem complementar de banana pacovan**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2013. 156p.

ANDREOLA, K. **Secagem de cenoura (*Daucus carota* L.) assistida por micro-ondas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) – Universidade estadual de Campinas, Campinas - SP, 2013. 205p.

ANTÔNIO, G.C. **Influência da estrutura celular e da geometria da amostra na taxa de transferência de massa no processo de desidratação osmótica da Banana Nanica (*Musa Cavendish*) e de Mamão Formosa (*Carica papaya* L.)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2002. 112p.

AOSANI, E. **Temperatura de secagem estacionária e de armazenamento na qualidade de grãos de soja [*Glycine max* (L.) merrill]**. Dissertação (mestrado em Ciências e tecnologia Agroindustrial) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, 2007. 77p.

ASAE **Standar, Engineering practices and data adopted bt the American Society of Agricultural Engineers**. Published by American Society of Agricultural. 1984. 534p.

BESSA, J. F. V.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; ULIMANN, R.; KESTER, A. N.; SILVA, G. P. **Determinação da difusão líquida de grãos de soja da cultivar valiosa**. In: I Congresso de Pesquisa e Pós-graduação do Câmpus Rio Verde do IFGoiano. Anais... Goiânia, 2012.

BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabólicos incolores..**

Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2009. 125p.

BORTOLAIA, L. A. **Modelagem matemática e simulação do processo de secagem artificial de grãos de soja em secadores de fluxo contínuo**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2011. 161p

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p. ISBN 978-8-99851-70-8.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying cereal grains**. Westport, CT: AVI, 1974.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C. W. **Drying and storage os grains and oilseeds**. New York: The AVI Van Nostrand Reinhold, 1992, 450p.

BUNYAWANICHAKUL, P.; WALKER, G. J.; SARGISON, J. E.; DOE, P. E. Modeling and Simulation of Paddy Grain (Rice) Drying in a Simple Pneumatic Dryer. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 03, p. 335-344, 2007.

BURMESTER, K.; EGGERS, R. Heat and mass transfer during the coffee drying process. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 99, n. 4, p. 430-436, 2010.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, p. 588, 2000.

CAVALCANT MATA, M. E. R. M. **Efeitos da secagem em altas temperaturas por curtos períodos de tempo, em camada estacionária, sobre a armazenabilidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade “carioca”**: Avaliação experimental, modelagem e simulação. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 1997. 264p.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DANTAS, L. A.; BRAGA, M. E. D. Programa computacional para simulação de secagem de grãos. **Revista Brasileira de Agroindustriais**, v.1, n.1, p.33-50, 1999.

CAVALCANTI, M. E. R. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, R. D.; CAVALCANTI, R. F. R. M. Secagem de sementes de feijão macassar destinadas a crioconservação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.13, n. Especial, p. 511-524, 2012.

CENKOWSKI, S., JAYAS, D. S. Potencial of in-field and low-temperature drying for reducing chlorophyll contents in canola (*Brassica napus* L.) **Journal of Science in Food and Agriculture**, Bognor Regis, v. 63, p. 377-383, 1993.

CHEN, Z.-Y., MA, K. Y., LIANG, Y., PENG, C., ZUO, Y. Role and classification of cholesterol-lowering functional foods. **Journal of Functional Foods**, v.3, n.2, p.61–69, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, v.2 - safra 2014/2015, n.3 – Terceiro Levantamento. Brasília: CONAB, 2014. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br> > Acesso em: 8 jan. 2015.

CONWAY, G. **Produção de alimentos no século XXI: biotecnologia e meio ambiente**. São Paulo: Estação Liberdade, 2003.

CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; CAMPOS, S. C. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33,n.4,p.575-581, 2011.

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

DALPASQUALE, V. **Drying of soybeans in continuous-flow dryers and fixed-bed drying systems**. Tese de doutorado - Michigan University, Michigan -MI, 1981.

DALPASQUALE, V. A.; SPERANDIO, D. Modelo de simulação de secagem de produtos agrícolas usando entalpia do ar constante. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 04, p. 726-731, 2010.

DANTAS, I. B. **Influência do teor de lignina na qualidade e armazenabilidade de semente de soja inoculadas com *Aspergillus flavus* e *Penicillium* sp.** Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Lavras – MG, 2012. 110p. a

DANTAS, L. A. **Soluções Computacionais Analítico-Numéricas aplicadas à simulação de secagem de Produtos Biológicos.** Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2012.b

DIÓGENES, A. M. G.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, D. C. Cinética de secagem de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 71 – 80, 2013.

DOYMAZ, I. Air-drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1291-1297, 2007.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de Arroz: Secagem, armazenamento e qualidade.** Pelotas: Ed. UFPEL, 422p. 2007.

FINLEY, J. W., SANDLIN, C., HOLLIDAY, D. L., KEENAN, M. J., PRINYAWIWATKUL, W., & ZHENG, J. Legumes reduced intestinal fat deposition in the *Caenorhabditis elegans* model system. **Journal of Functional Foods**, v.5, n.3, p.1487–1493, 2013.

FIGUEIRA, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos.** João Pessoa: Editora universitária - UFPB, 229 p. ISBN 85-237-0454-0. 2004.

FIQUEIRA, F. V. **Secagem de pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) precedida de desidratação osmótica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras –MG, 2014. 67p.

GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físicas mecânicas e da qualidade de mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa , Viçosa – MG, 2008. 186p.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P.C.; MAGALHÃES, F.E.A.; BAPTESTINI, F.M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, n.1, p.1-8, 2011.

GOUVEIA, D. S.; UGULINO, S. M. P.; DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. C. **Cinética de feijão preto (*phaseolus vulgaris*, L.) em secador de bandeja.** *Holos*, ano 27, v.1, 2011.

GRAEBIN, G. O. **Secagem do bagaço de cana-de-açúcar e estudo da sua aplicação na remoção de metal pesado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade estadual do Oeste do Paraná, Toledo – PR, 2014. 132p.

HALL, C. W. **Drying farm crops.** Ann Arbor , Edwards Brothers, Michigan, 1971, 336p.

HOFMANN, A. M. S. **Experimentos, modelagem, simulação e controle de uma operação contínua de secagem e resfriamento de soja (*Glycine max*) Extrusada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2012. 82p.

IRIGOYEN, R. M. T.; GOÑI, S. M.; GINER, S. A. Drying–toasting kinetics of resoaked soybean. A mathematical model considering variable diffusivity, shrinkage and coupled heat transfer. **Journal of Food Engineering**, v.142, p. 70-79, 2014.

JAYARAMAN, K. S.; DAS GUPTA, D. K. **Drying of Fruits and Vegetables.** In: Handbook of Industrial Drying, Mujumdar, A.S. 3^oed. New York: CRC Press, 2006. 1280 p.

KESTER, A. N.; RESENDE, O.; SILVA, G. P.; OLIVEIRA, D. E. C.; BESSA, J. F. V.; ULLMANN,R. **Cinética de secagem dos grãos de soja.** In: I Congresso de Pesquisa e Pós-graduação do Câmpus Rio Verde do IFGoiano. Anais... Goiânia, 2012.

LAZZAROTTO, J.J.; HIRAKURI, M.H. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro.** Londrina -PR: Embrapa, 2009. 58p. (Documentos/ Embrapa Soja 319).

LEE, Y.-L.; YANG, J.-H.; & MAU, J.-L. Antioxidant properties of water extracts from *Monascus* fermented soybeans. **Food Chemistry**, v.106, n.3, p.1128–1137, 2008.

LIU, K. **Soybeans: chemistry, technology and utilization.** New York, Chapman & Hall, 1997. 532p.

LOPES, R. P.; SILVA, J. S.; RUFFATO, S.; SENA JR, D. G. Consumo de energia em dois sistemas de secagem de café. **Revista Ciência e agrotecnologia**, v.26, n.6, p.1266- 1274, nov/dez, 2002.

LOPES, F. J. **Estudo do fenômeno de encolhimento na secagem convectiva de abacaxi com aplicação de micro-ondas.** Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes -RJ, 2013. 147p.

LUANGMALAWAT, P.; PRACHAYAWARAKORN, S.; NATHAKARANAKULE, A.; SOPONRONNARIT, S. Effect of temperature on drying characteristics and quality of cooked rice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 04, p. 716-723, 2007.

MANCILLA, Y. N.; WON, M. P.; GÁLVEZ, A. V.; ARIAS, V.; MUNIZAGA, G. T.; LABARCA, V. B.; MONDACA, R. L.; SCALA, K. D. Modeling mass transfer during osmotic dehydration of strawberries under high hydrostatic pressure conditions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.12, p.338-343,2011.

MARTINAZZO A. P.; MELO E. C.; CORRÊA P. C.; SANTOS R. H. S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.12, n.4, p.488-498, 2010.

MÖHLER, B. C. **Avaliação das características de secagem de grãos de soja**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre –RS, 2010. 43p.

MOREY, R. V.; CLOUD, H. A.; GUSTAFSON, R. J.; PETERSEN, D. W. Evaluation of the feasibility of solar energy grain drying. **Transactions of the ASAE**, v.22, n.2, p.409-417, 1979.

OLIVEIRA, J. R. **Desenvolvimento de um sistema de secagem para grãos, em Camada fina e espessa: comparação entre modelos Matemáticos de simulação para grãos de feijão-macáçar (*vigna unguiculata (l.) Walpers*)**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande –PB, 2006. 204p.

OLIVERIA, D. E. C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. S.; CAMPOS, R. C.; CHAVES, T. H. Cinética de secagem dos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n.2, p. 190-201, 2012.

OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. S.; SIQUEIRA, V. C. NETO, C. A. J. Alterações morfológicas em grãos de soja durante o processo de secagem. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.3, p.975-984, mai/jun, 2013.

PARK, K. J.; TUBONI, C. T.; OLIVEIRA, R. A.; 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., ANTONIO, G. C., OLIVEIRA R. A. de., PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. CTEA – UNICAMP. Campinas- SP, 2007, 47p.

POPINGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília- DF, AGIPLAN, 2ª Ed. 1985. 289 p.

QUEIROZ, D. M.; PEREIRA, J. A. M.; MELO, E.C. **Modelos matemáticos de simulação de secagem de grãos**. Viçosa. Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1987, 55p.

REIS, R. C.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; SERVULO, A. C. O.; SOUZA, A. B. M. Cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.12, p. 1346 – 1352, 2012.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.

RESENDE, O.; ULLMANN, R.; SIQUEIRA, V. C.; CHAVES, T. H.; FERREIRA, L. U. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) durante a secagem. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.31, n.6, p.1123- 1135, nov/dez, 2011.

SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIQUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Secagem solar de grãos residuais e farinha de grãos residuais de urucum. **Journal Bioscience**, v. 30, n. 2, p. 436-446, mar/abr, 2014.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. Origem, evolução e importância econômica. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenias, 2009, cap. 1, p. 1-5.

SILVA, L. A.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, R. D.; CAVALCANTI, R. F. R. R. M. Cinética de secagem de grãos de algaroba. **Revista Brasileira de Produto Agroindustriais**, v.14, n. especial, p. 535-542, 2012.

SILVA, B. G. **Modelagem e simulação do processo de secagem dos frutos de aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Campinas, Campinas –SP, 2013. 145p.

SINGH, H. B., SINGH, B. N., SINGH, S. P., & NAUTIYAL, C. S. Solid-state cultivation of *Trichoderma harzianum* NBRI-1055 for modulating natural antioxidants in soybean seed matrix. **Bioresource Technology**, v.101, n.16, p. 6444–6453, 2010.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of *Jatropha* seeds. **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.2, p.171 – 177, mar/abr, 2012.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista ciência Agrônômica**, v.42, n.4, p. 883-892, out/dez, 2011.

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M.; FOSTER, G.H. Mathematical simulation of corn drying – A new model. **Transactions of the ASAE**, v.11, n.4, p.582-586, 1968.

TRINDADE, M. S. **Secagem de soja em camada espessa: modelagem matemática e simulação numérica**. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Universidade regional do Noroeste do Rio Grande do Sul – RS, 2013. 110p.

VALENTE, P. P. S. S. **Desidratação osmótica e secagem de abacaxi (*Ananás Comosus* (L.) Merrill), variedade pérola**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campinas, Campinas - SP, 2007. 124p.

VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M.; SILVA, L. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; SANTOS, F. L. LINSEC – The software for modeling and simulation of grain drying systems. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n.4, p.664-673, out/dez, 2012.

VIEIRA, M. G. A. **Análise da secagem de polpa de celulose para a obtenção de papel reciclado tipo cartão**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas -SP, 2006. 232p.

WEBER, E.A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Canoas, RS: Editora Salles, p.586, 2005.

XIAO, Y.; WANG, L.; RUI, X.; LI, W.; CHEN, X.; JIANG, M.; DONG, M. Enhancement of the antioxidant capacity of soy whey by fermentation with *Lactobacillus plantarum* B1-6. **Journal of functional foods**, v.12, p. 33-34, 2015.

ZHANG, S., SHI, Y., ZHANG, S., SHANG, W., GAO, X., & WANG, H. Whole soybean as probiotic lactic acid bacteria carrier food in solid-state fermentation. **Food Control**, v.41, p. 1-6, 2014.

APÊNDICE A

**(Gráficos referentes aos valores residuais e preditos das equações de: Cavalcanti Mata,
Fick, Henderson e Pabis, Midilli, Page e Thompson)**

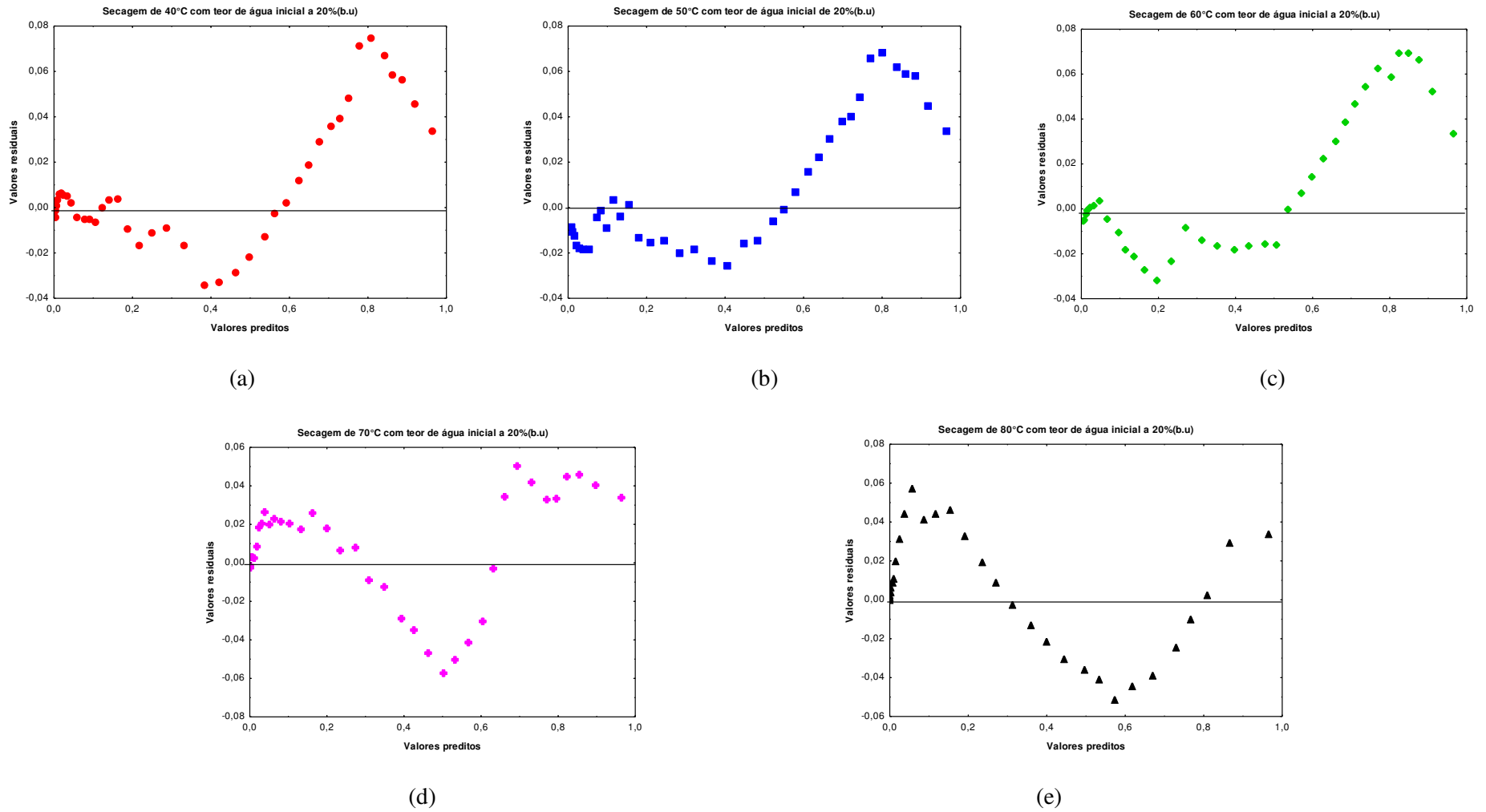
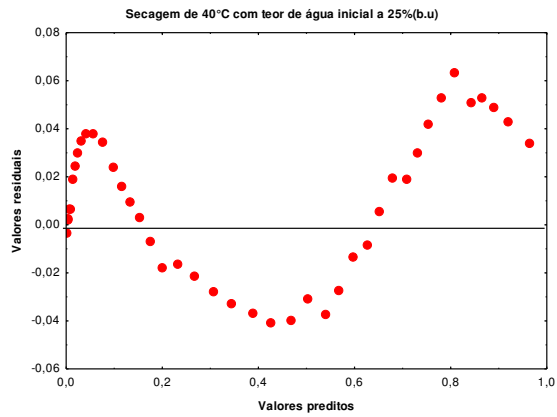
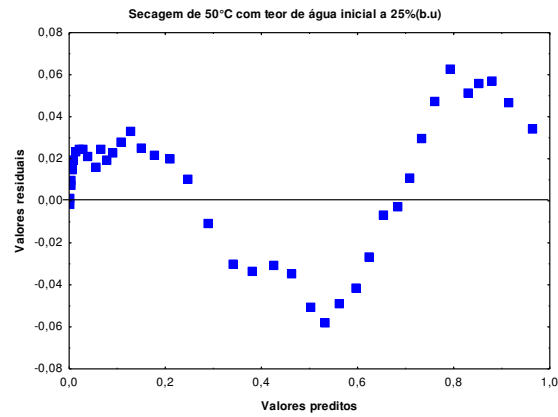


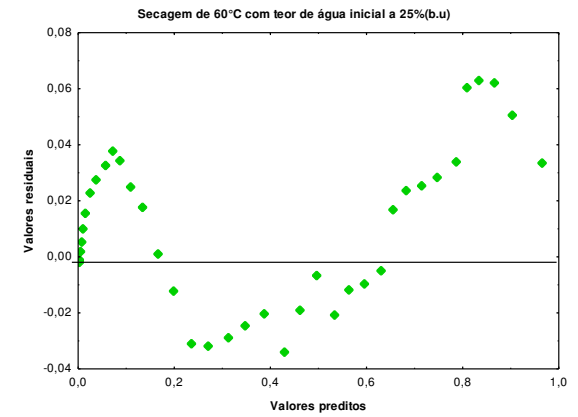
Figura A.1 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Fick para secagem com teor de água inicial de 20%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



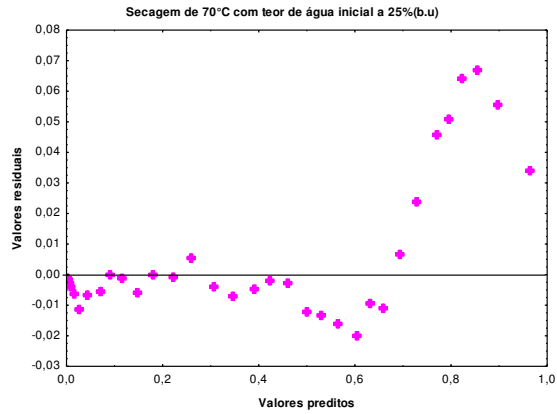
(a)



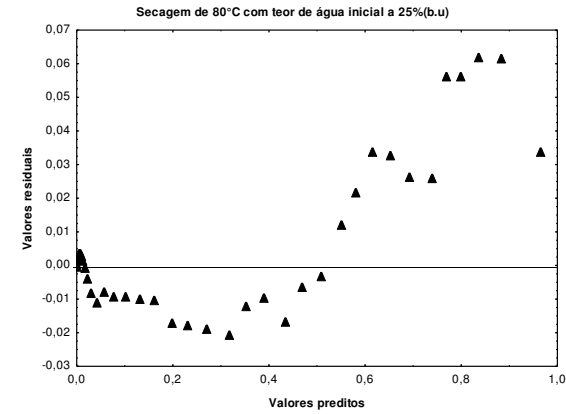
(b)



(c)

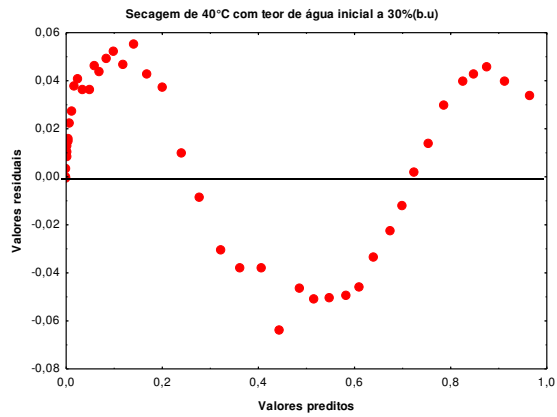


(d)

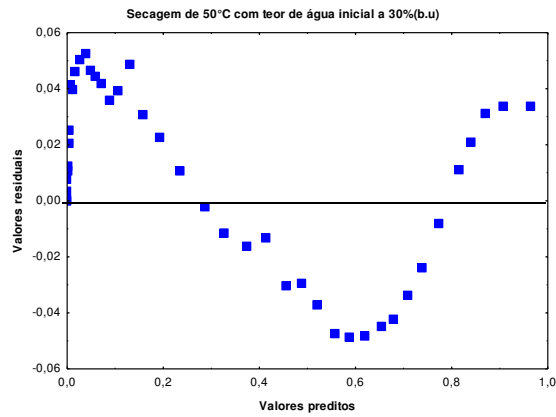


(e)

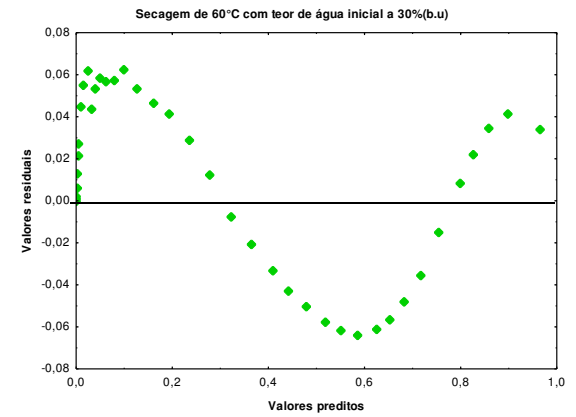
Figura A.2 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Fick para secagem com teor de água inicial de 25%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



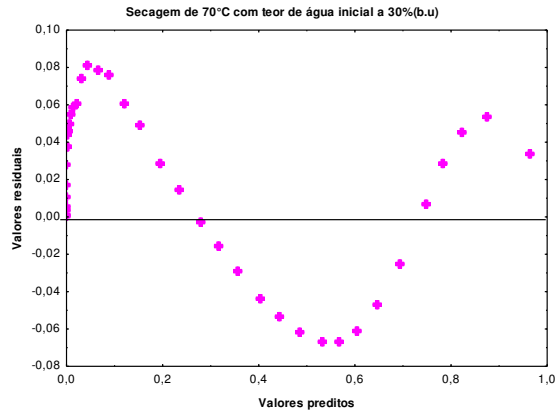
(a)



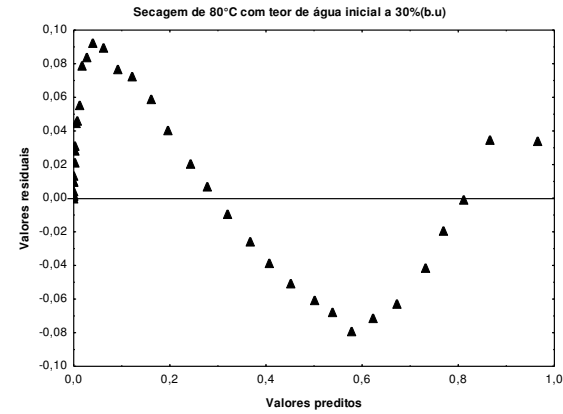
(b)



(c)

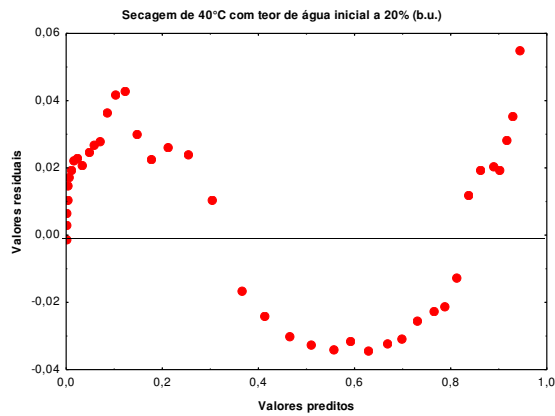


(d)

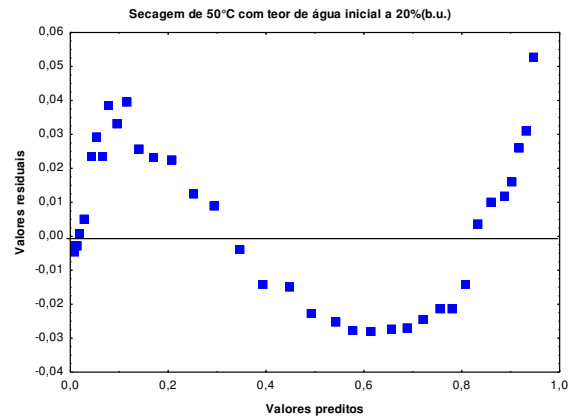


(e)

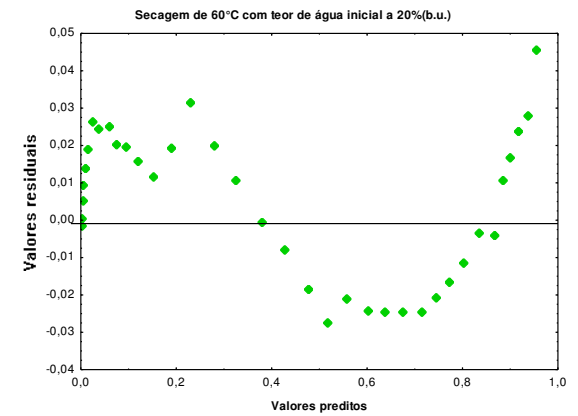
Figura A.3 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Fick para secagem com teor de água inicial de 30%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



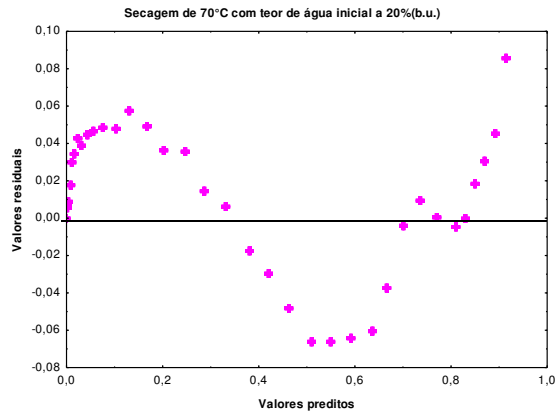
(a)



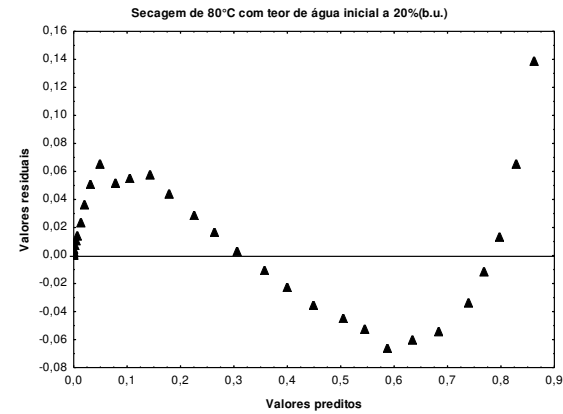
(b)



(c)

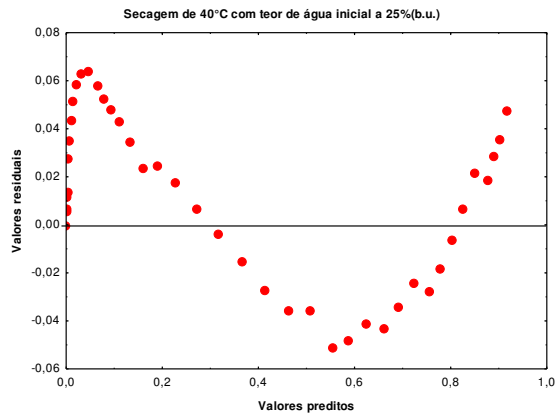


(d)

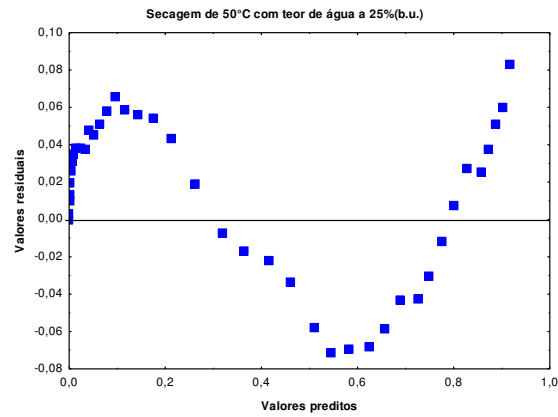


(e)

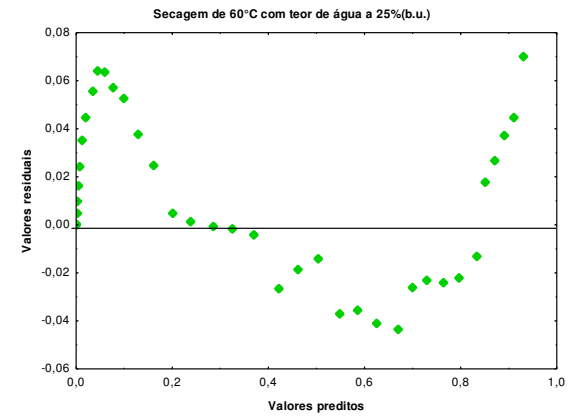
Figura A.4– Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Henderson e Pabis para secagem com teor de água inicial de 20%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



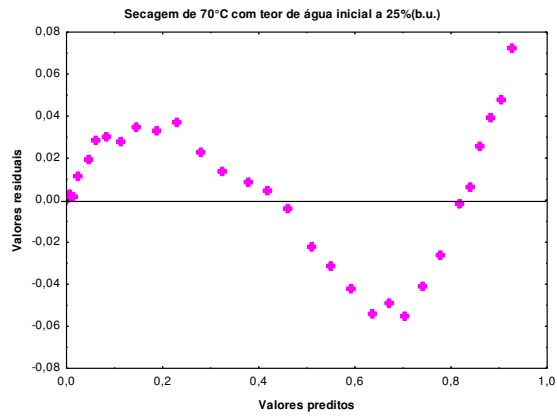
(a)



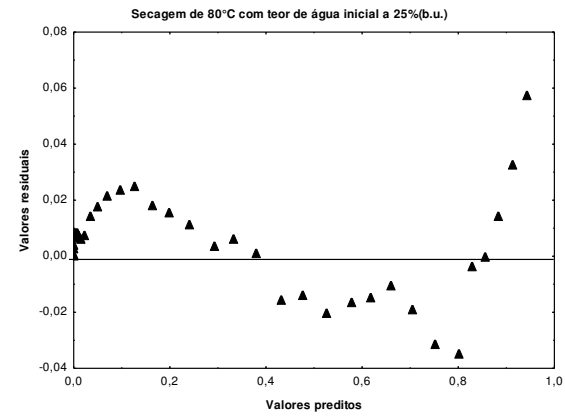
(b)



(c)

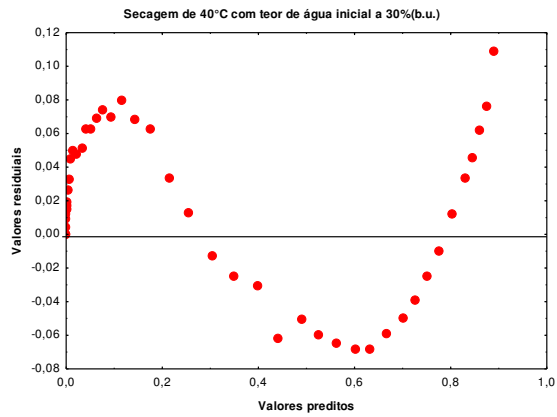


(d)

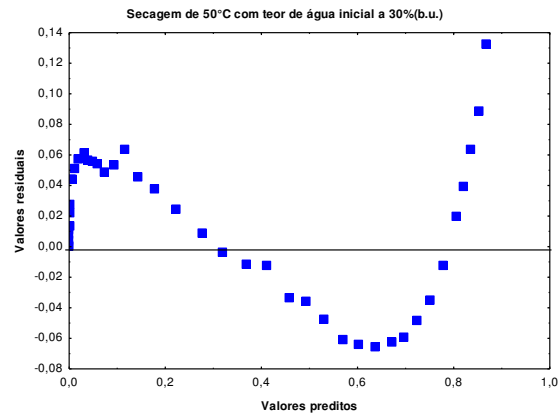


(e)

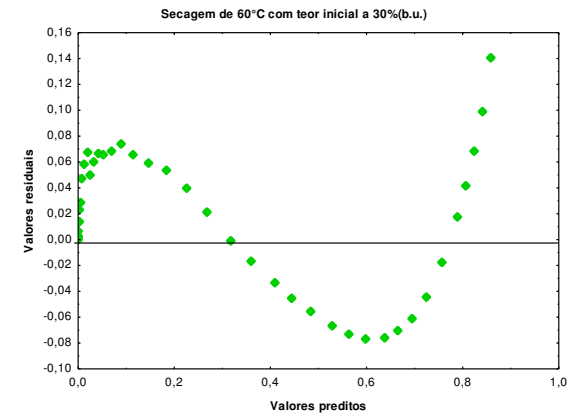
Figura A.5 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Henderson e Pabis para secagem com teor de água inicial de 25%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



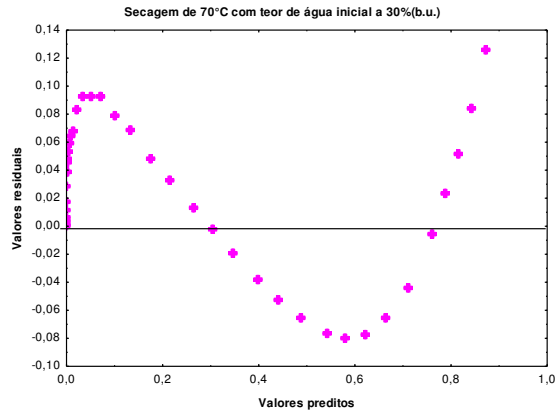
(a)



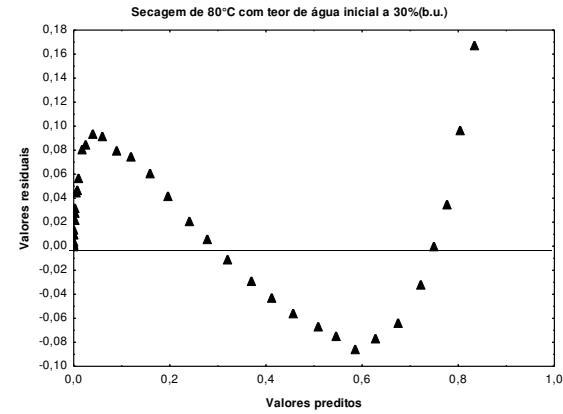
(b)



(c)

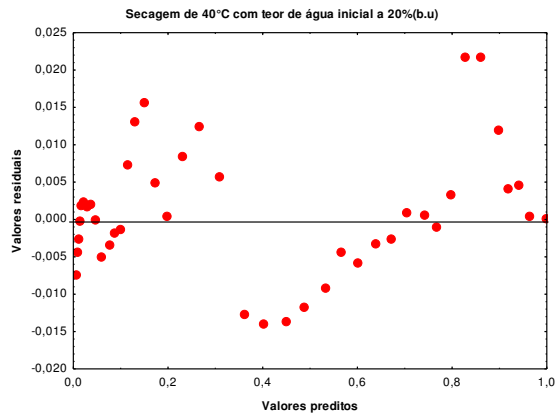


(d)

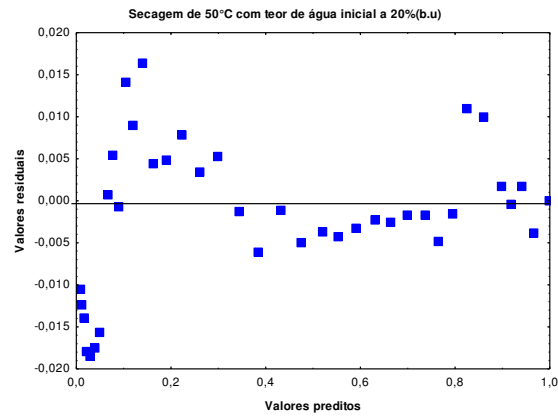


(e)

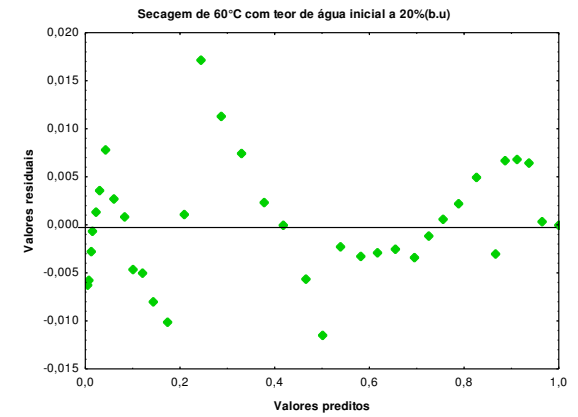
Figura A.6– Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Henderson e Pabis para secagem com teor de água inicial de 30%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



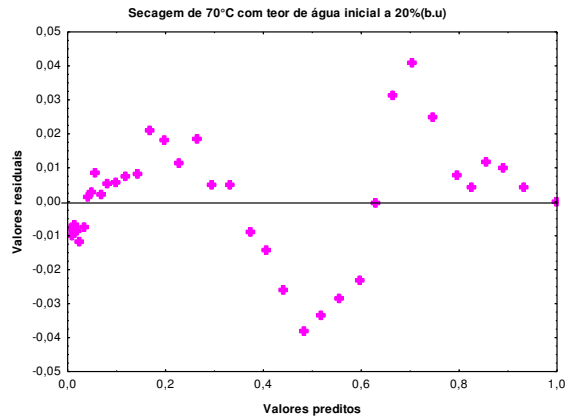
(a)



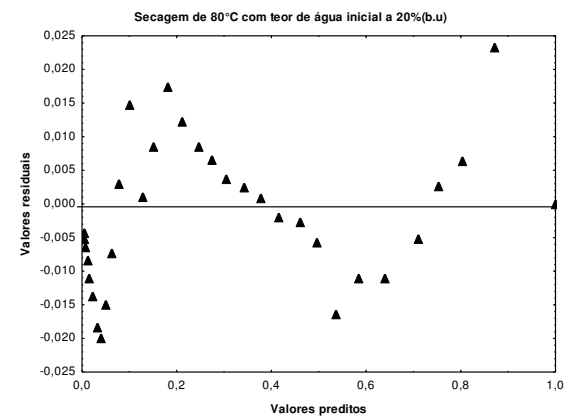
(b)



(c)

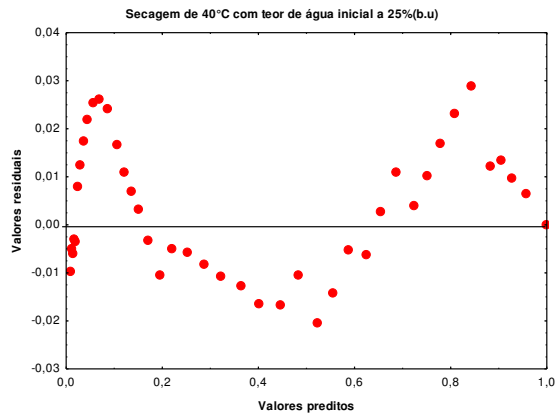


(d)

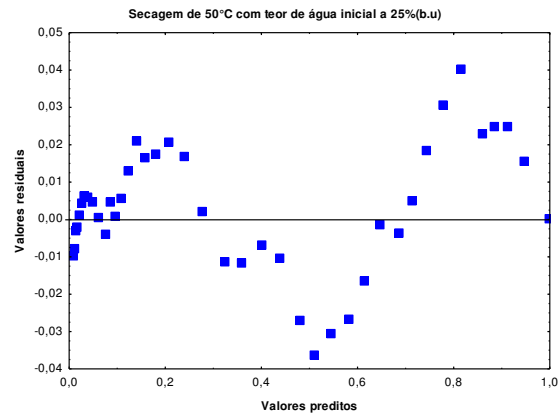


(e)

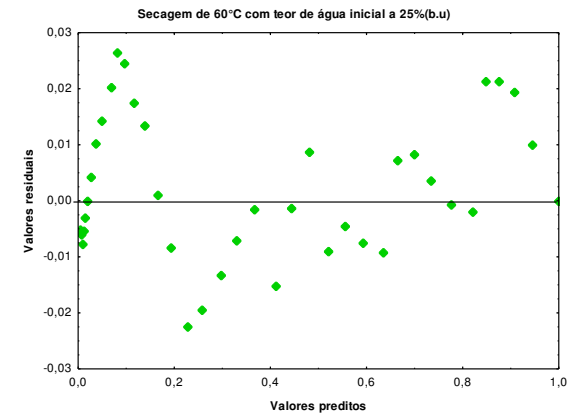
Figura A.17 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Page para secagem com teor de água inicial de 20 %(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



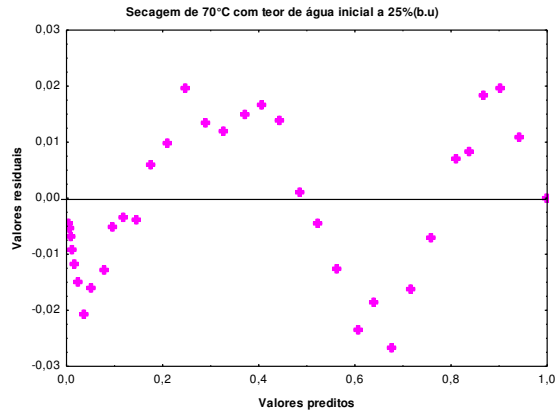
(a)



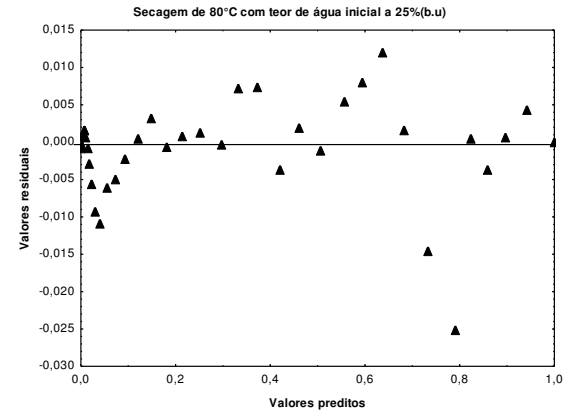
(b)



(c)

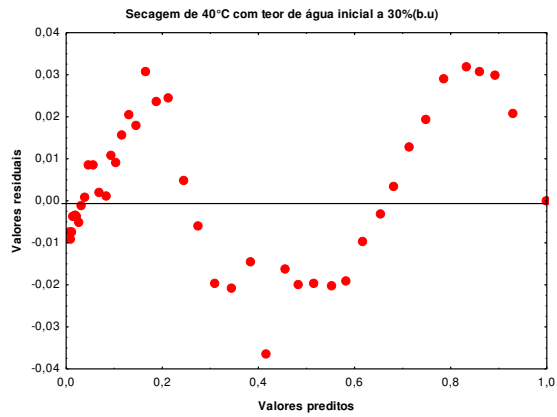


(d)

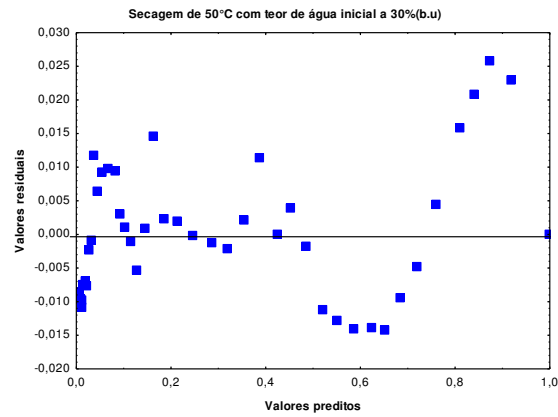


(e)

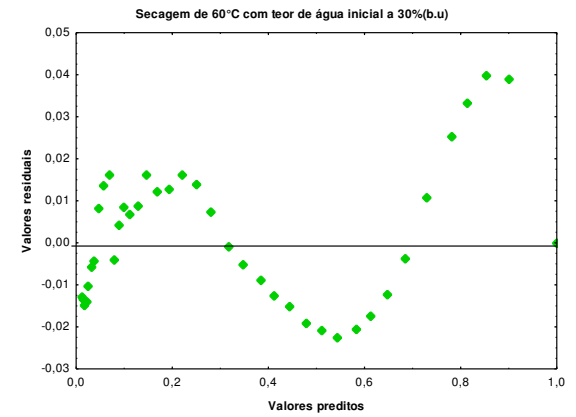
Figura A.8– Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Page para secagem com teor de água inicial de 25 %(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



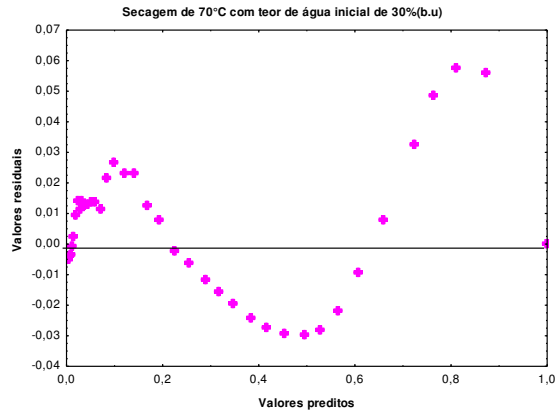
(a)



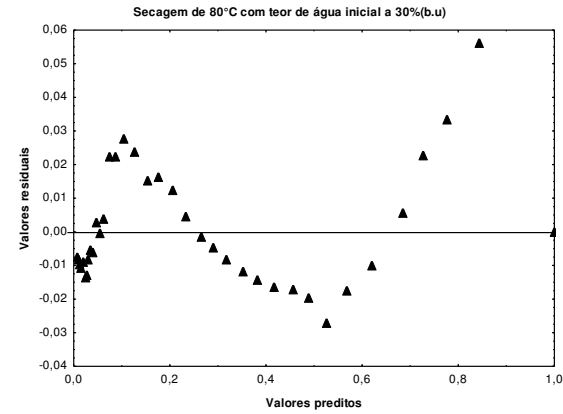
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura A.9 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Page para secagem com teor de água inicial de 30%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.

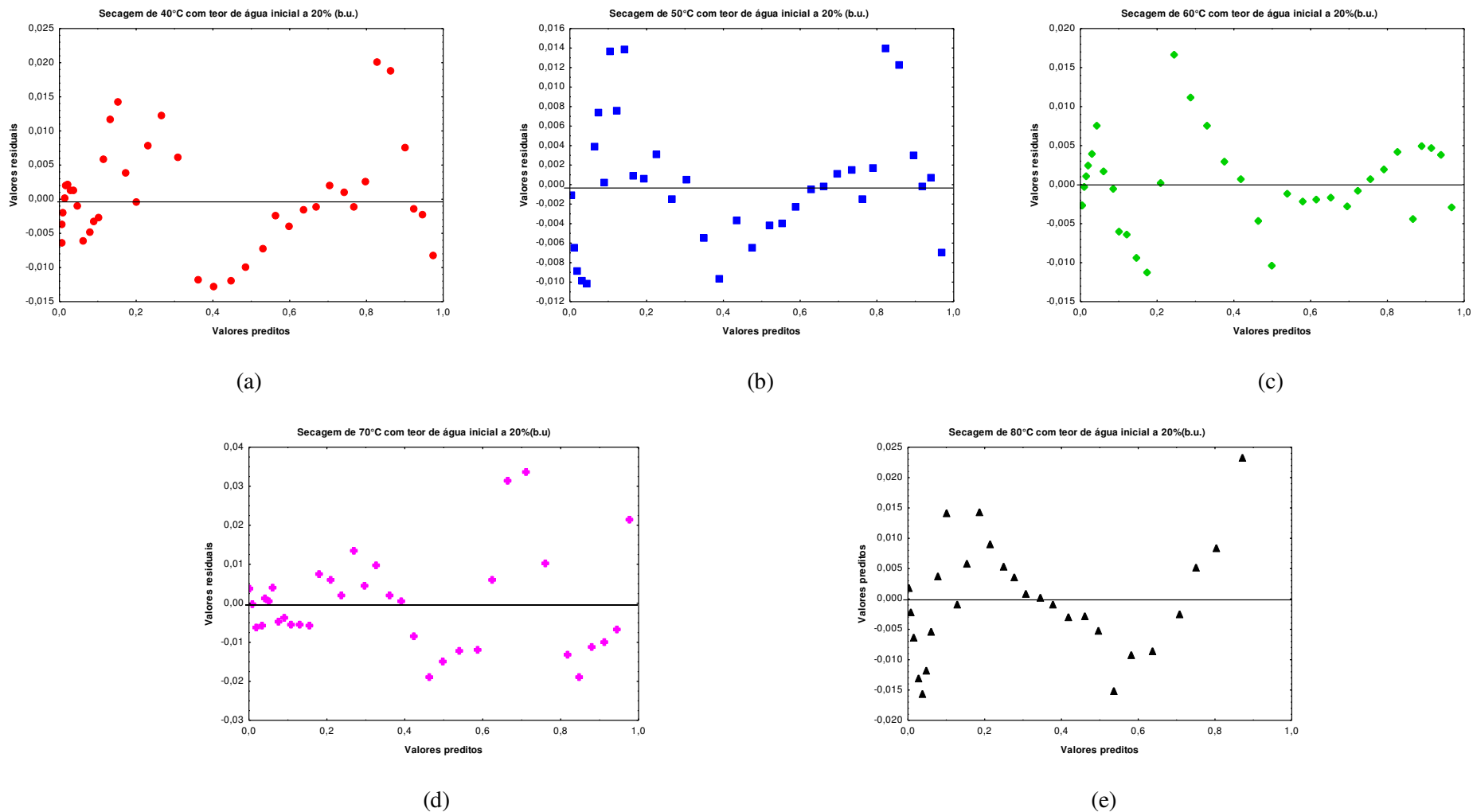
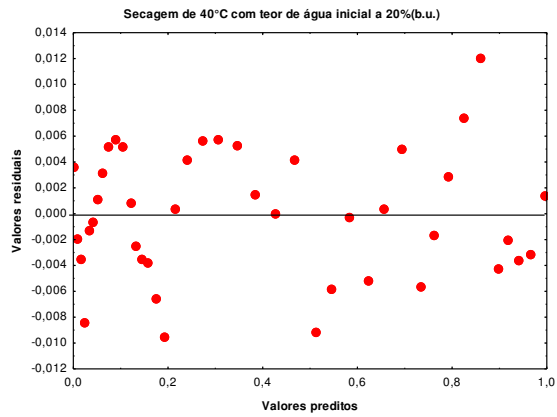
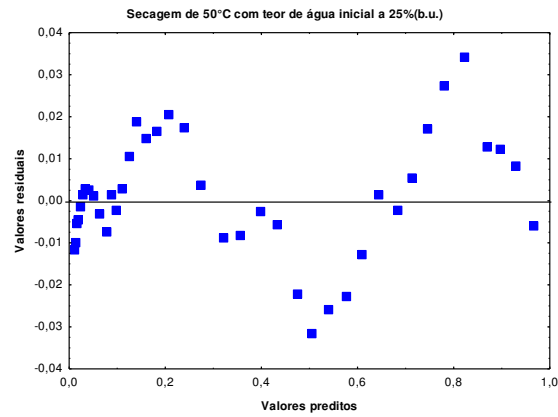


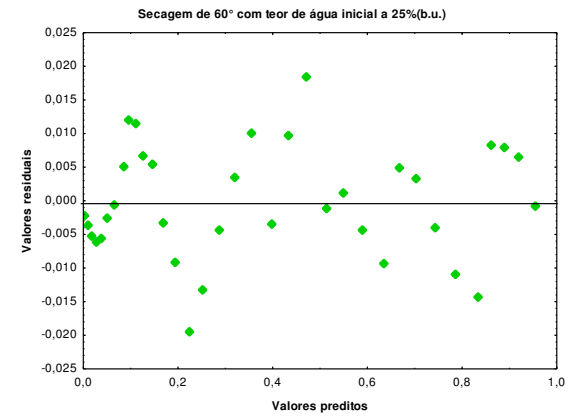
Figura A.10 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Cavalcanti Mata para secagem com teor de água inicial de 20%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



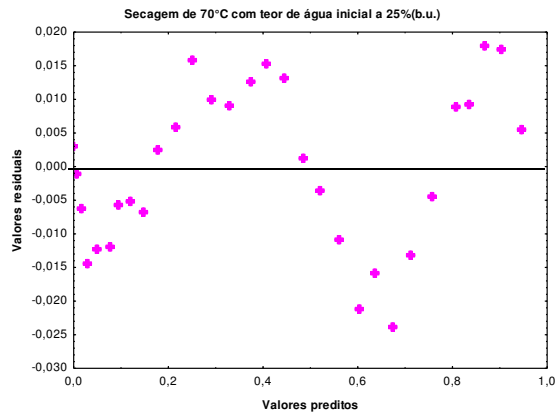
(a)



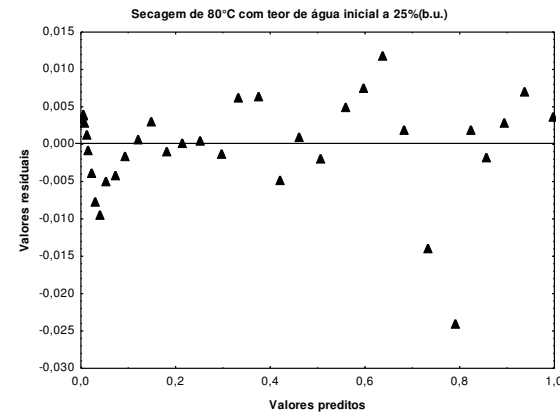
(b)



(c)

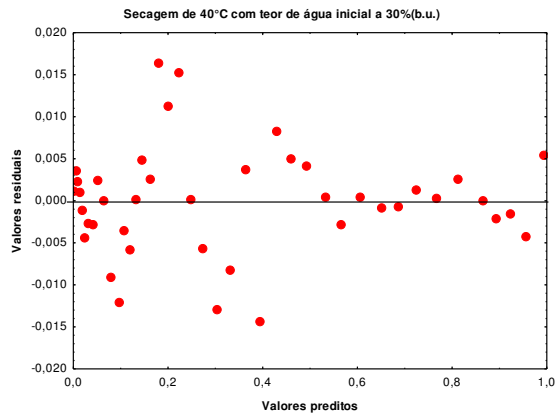


(d)

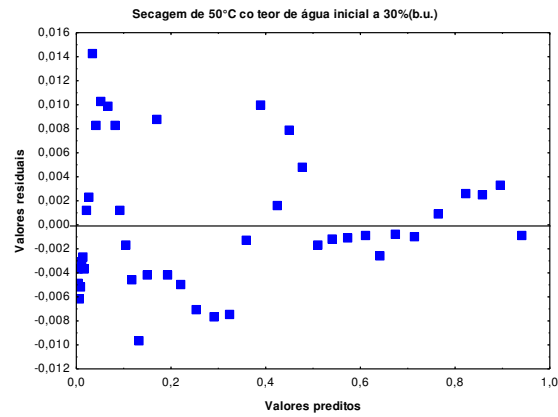


(e)

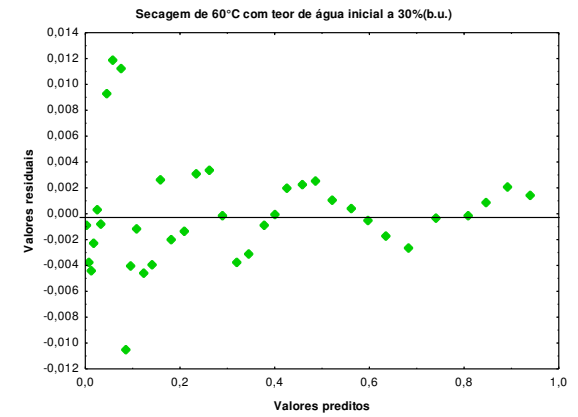
Figura A.11 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Cavalcanti Mata para secagem com teor de água inicial de 25%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



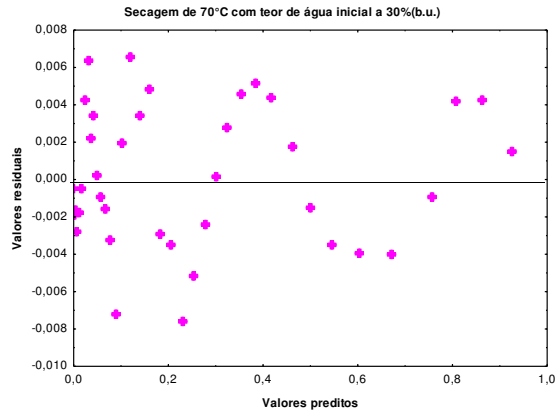
(a)



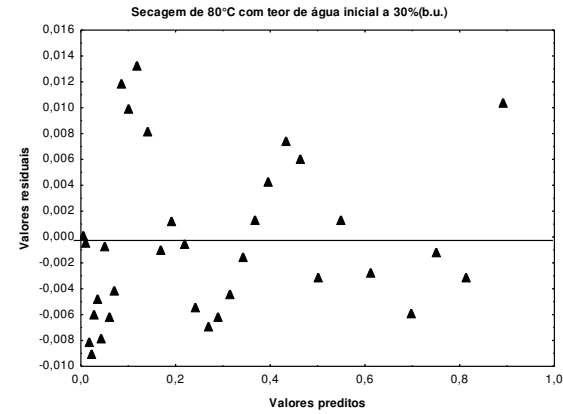
(b)



(c)

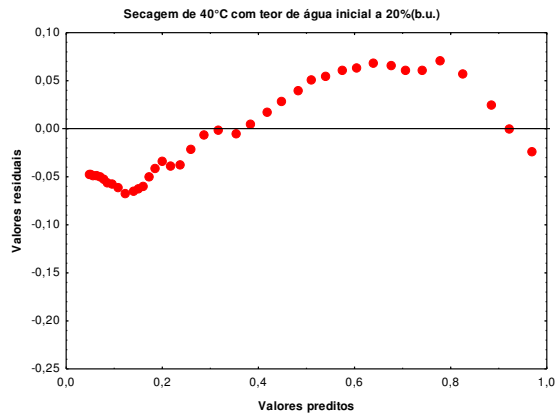


(d)

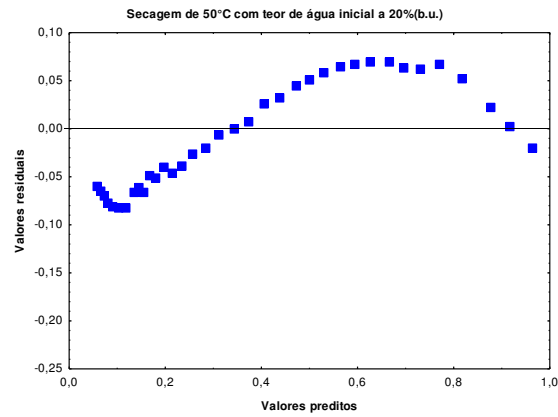


(e)

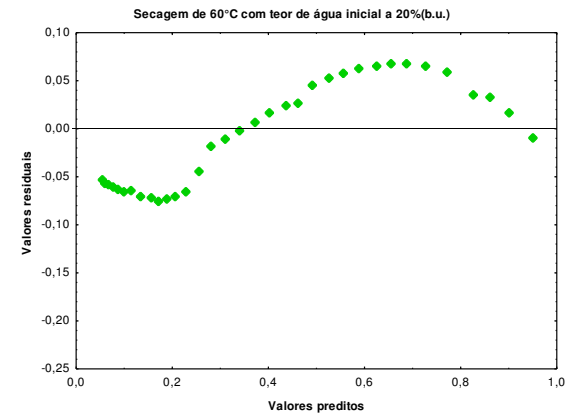
Figura A.12 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Cavalcanti Mata para secagem com teor de água inicial de 30%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



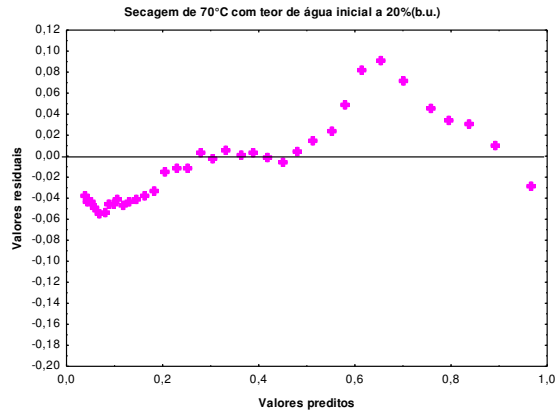
(a)



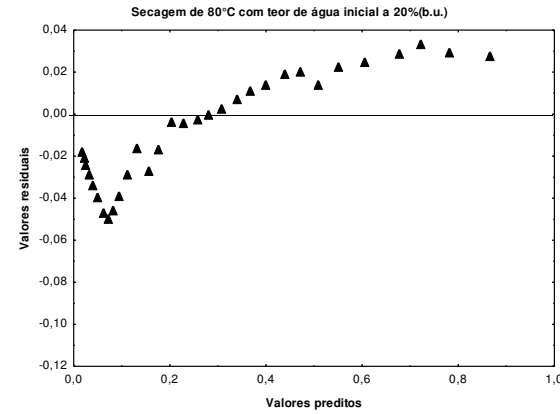
(b)



(c)

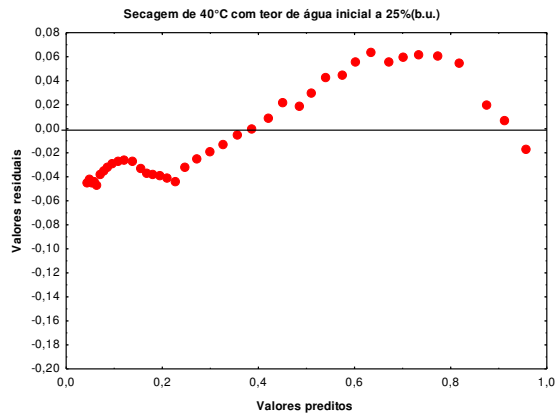


(d)

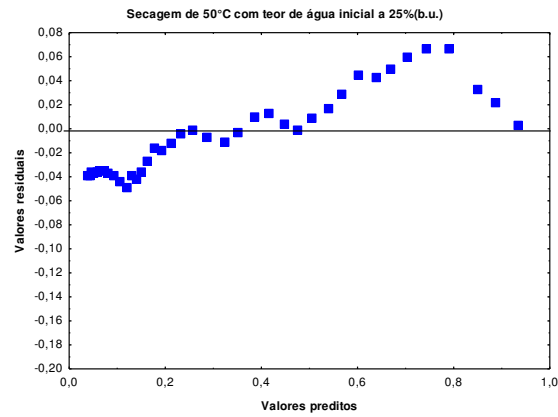


(e)

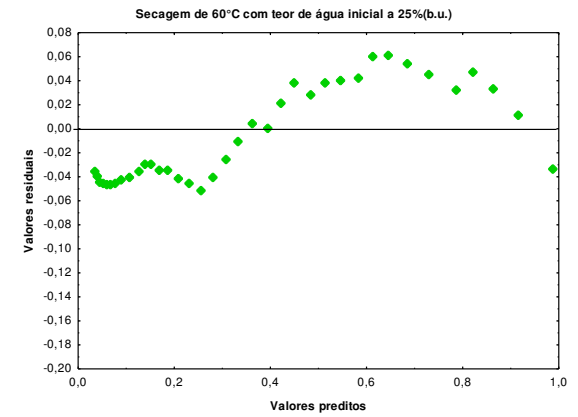
Figura A.13 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Thompson para secagem com teor de água inicial de 20%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



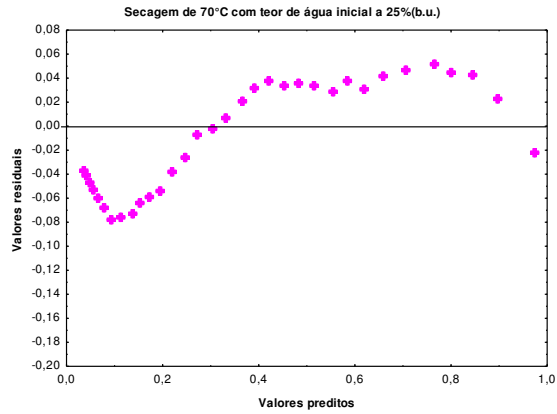
(a)



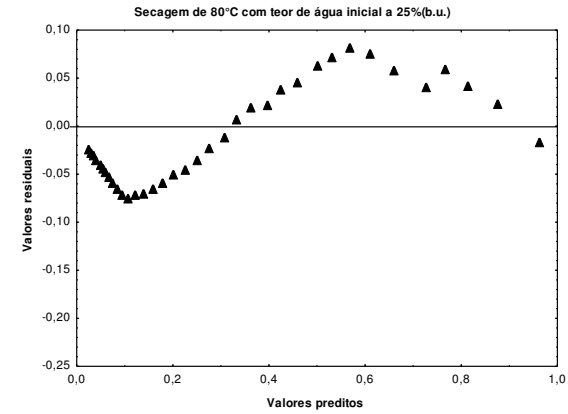
(b)



(c)

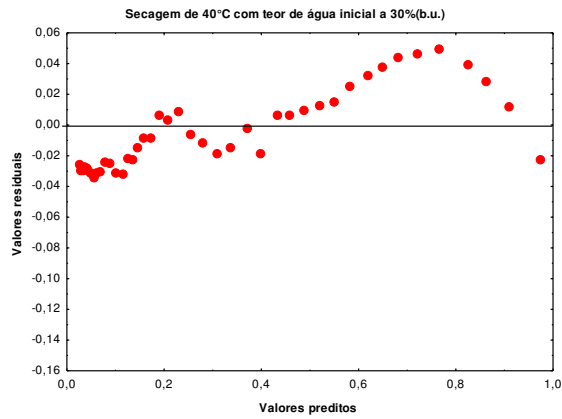


(d)

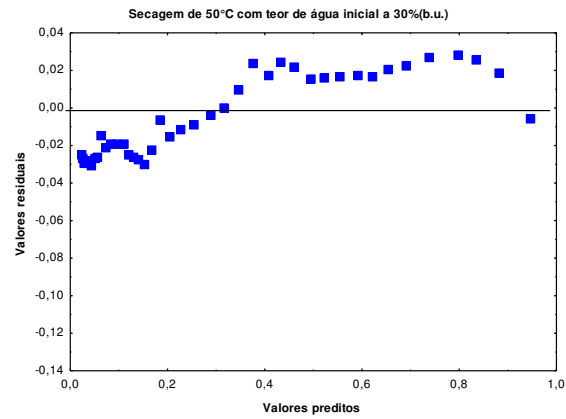


(e)

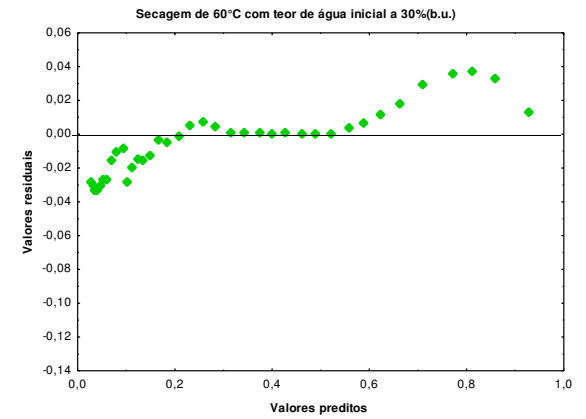
Figura A.14 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Thompson para secagem com teor de água inicial de 25%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



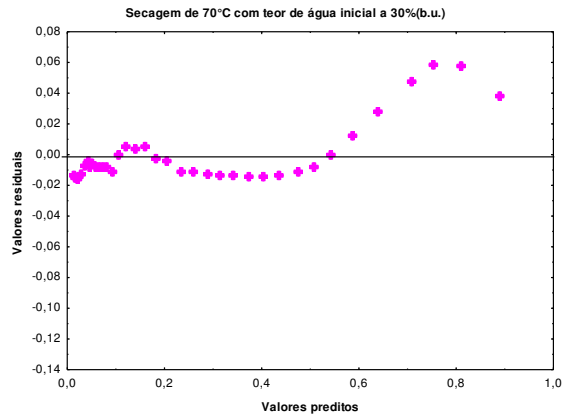
(a)



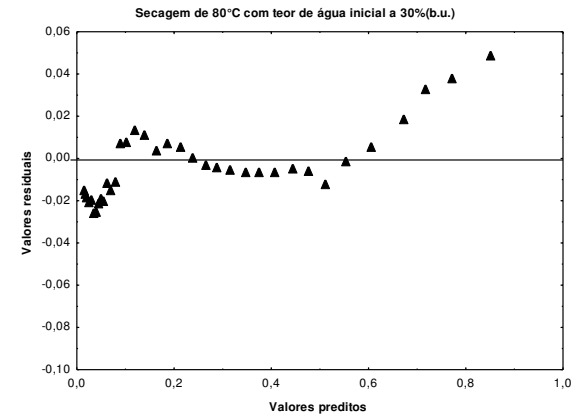
(b)



(c)

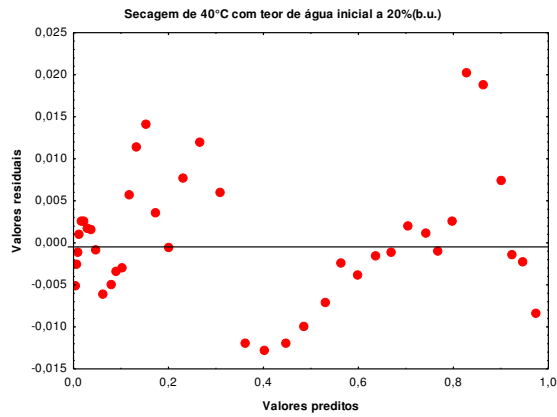


(d)

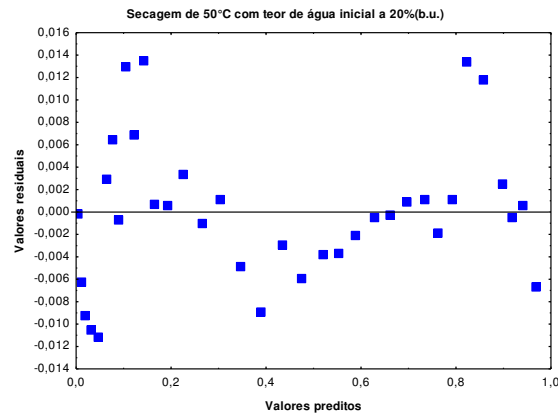


(e)

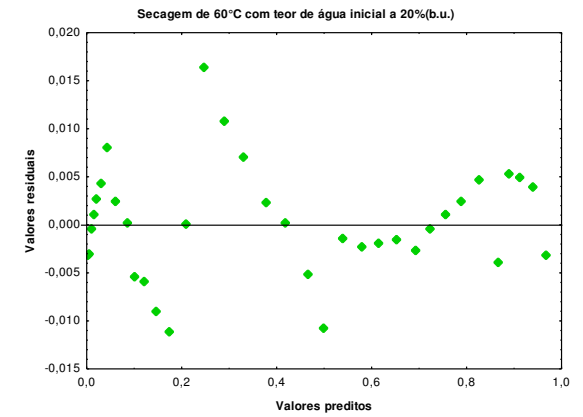
Figura A.15 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Thompson para secagem com teor de água inicial de 30%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



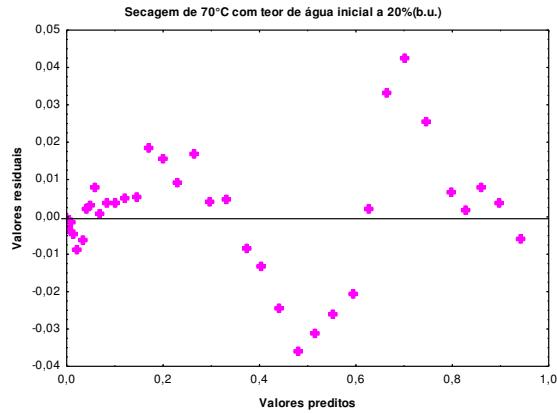
(a)



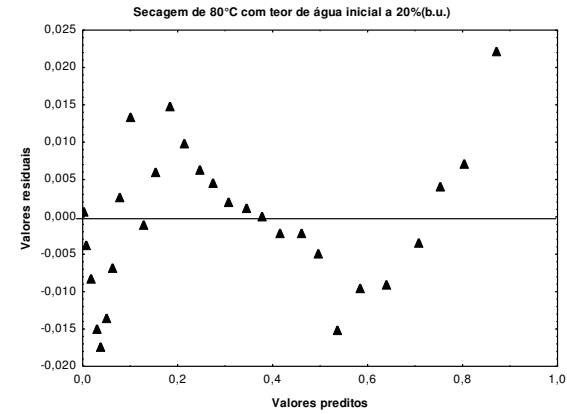
(b)



(c)

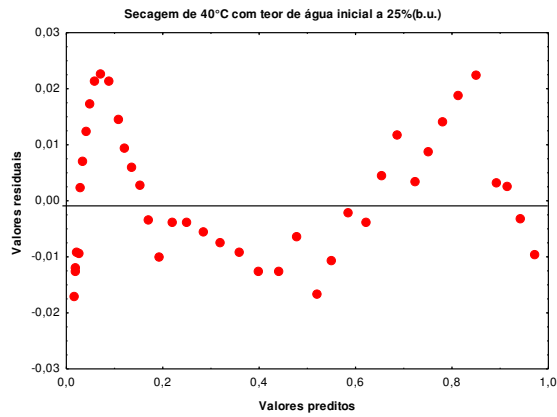


(d)

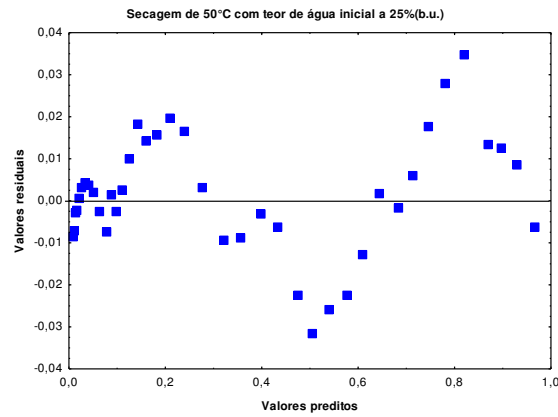


(e)

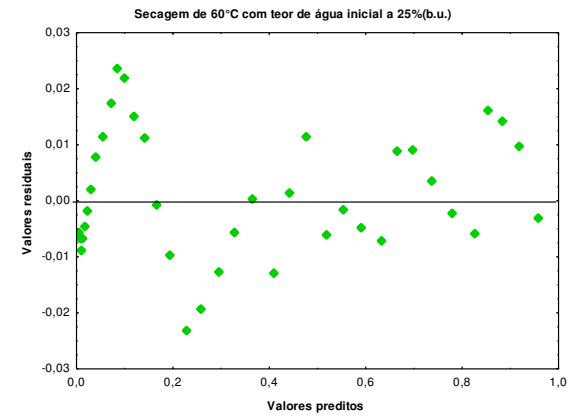
Figura A.16 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Midilli para secagem com teor de água inicial de 20%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°



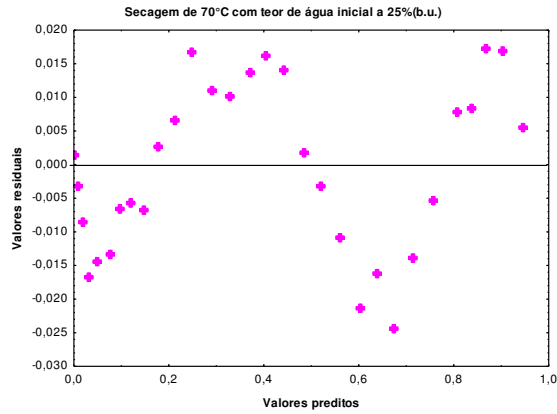
(a)



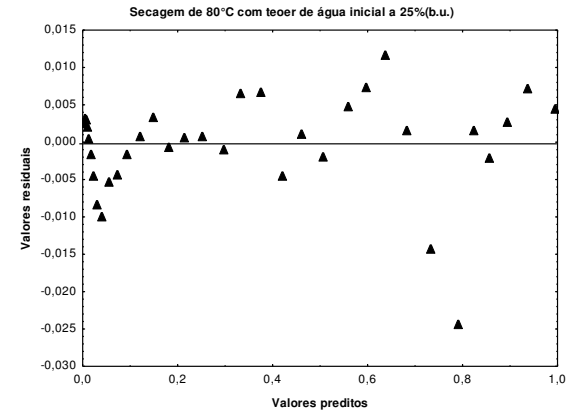
(b)



(c)

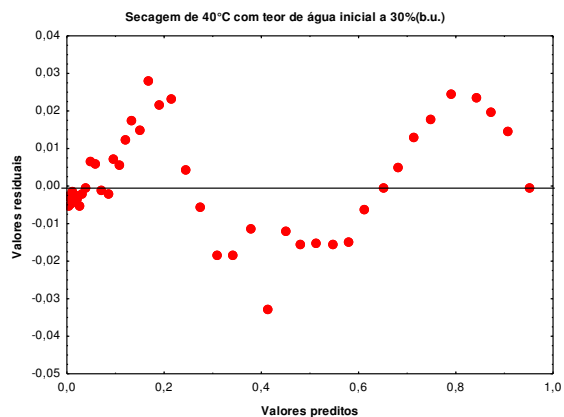


(d)

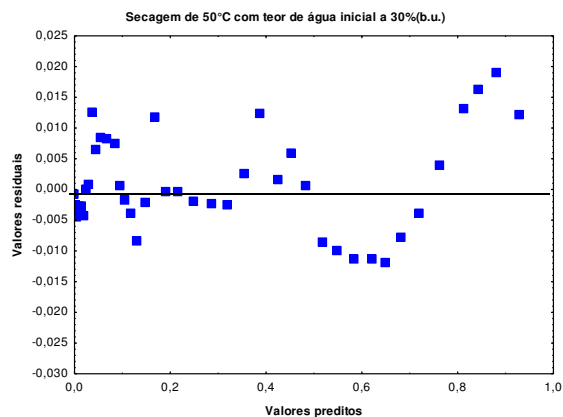


(e)

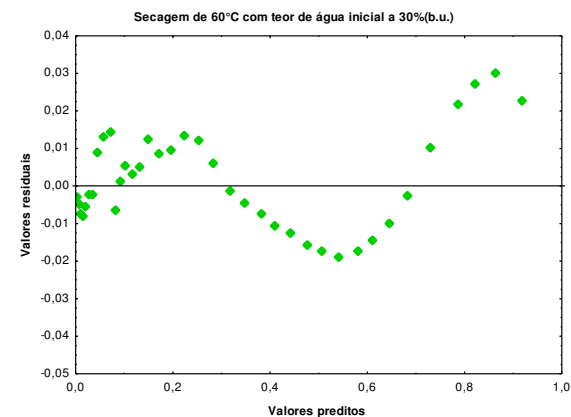
Figura A.17 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Midilli para secagem com teor de água inicial de 25%(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.



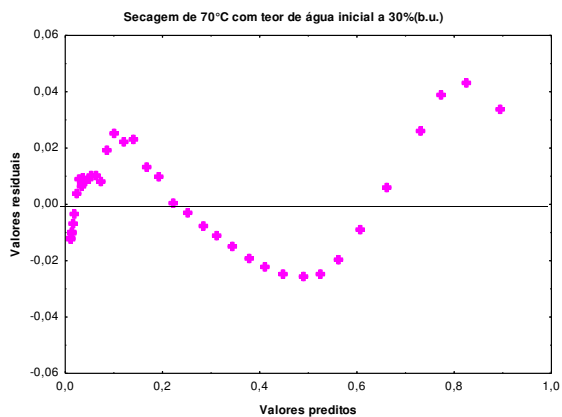
(a)



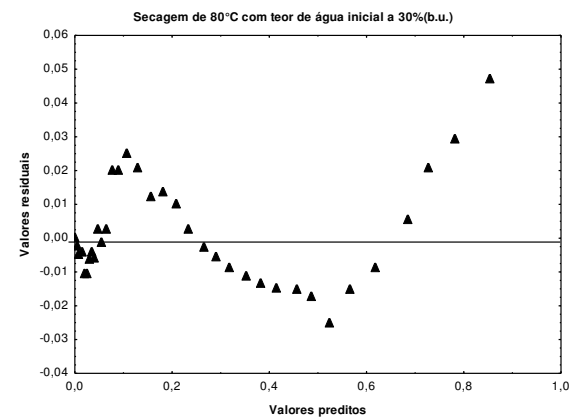
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura A.18 – Gráficos dos valores residuais versus valores preditos da equação de Midilli para secagem com teor de água inicial de 30 %(b.u.) e temperatura de: (a)40°C, (b)50°C, (c)60°C, (d)70°C e (e) 80°C.

APÊNDICE B
(Tabelas dos dados simulados, experimentais e seus desvios)

Tabela 4.7 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 40°C e 20% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X _o = 20 e T= 40°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	19,40	21,16	20,69	20,46	20,43	19,65	19,83	19,91	19,85	19,81	1,27	6,72	3,91	3,05	3,13
2	17,77	21,63	21,16	21,16	20,43	19,04	19,78	19,88	19,81	19,63	6,66	9,36	6,44	6,83	4,10
3	16,00	21,63	21,40	21,40	20,11	18,42	19,58	19,61	19,62	19,31	13,12	10,47	9,10	9,07	4,15
4	14,04	21,64	21,44	21,44	19,64	17,66	19,14	19,33	19,36	18,87	20,49	13,08	10,92	10,72	4,07
5	12,76	21,18	21,21	21,44	19,15	16,82	18,69	18,91	19,00	18,36	24,12	13,33	12,14	12,83	4,33
6	11,80	20,32	21,23	21,44	18,70	15,96	18,37	18,59	18,61	17,88	26,05	10,64	14,22	15,18	4,58
7	11,02	19,44	21,00	21,44	18,22	15,35	17,91	18,28	18,38	17,48	28,23	8,52	14,87	16,65	4,22
8	10,36	18,24	21,02	21,44	17,76	14,81	17,52	17,86	17,91	17,02	30,03	4,10	17,70	19,71	4,32
9	9,80	17,07	21,02	21,21	17,27	14,28	17,26	17,63	17,71	16,72	31,38	1,11	19,21	19,78	3,28
10	9,30	15,73	21,02	21,23	16,82	13,13	16,75	17,20	17,37	16,11	29,18	6,06	22,18	22,22	4,39
12	8,46	12,98	21,02	21,00	15,86	12,28	16,08	16,76	16,89	15,50	31,11	19,28	25,40	24,35	2,31
14	7,77	11,16	20,12	20,79	14,96	11,60	15,42	16,15	16,44	14,90	33,04	27,63	24,55	26,47	0,38
16	7,18	9,90	18,47	20,80	14,09	10,87	14,71	15,65	16,23	14,36	33,97	32,68	18,05	28,17	1,90
18	6,67	8,94	16,63	20,80	13,26	10,12	14,01	15,01	15,97	13,78	34,09	36,21	10,83	30,23	3,76
20	6,23	8,16	14,44	20,80	12,41	9,42	13,26	14,47	15,68	13,21	33,86	38,46	0,19	32,63	6,04
22	5,84	7,52	12,02	20,57	11,49	8,51	12,26	13,59	15,01	12,34	31,34	38,64	11,53	37,07	6,88
24	5,50	6,97	10,52	19,66	10,66	7,93	11,79	12,88	14,56	11,79	30,63	40,86	18,31	35,06	9,56
26	5,18	6,49	9,42	18,16	9,81	7,48	11,40	12,03	13,94	11,21	30,72	43,09	21,71	30,28	12,52
28	4,90	6,07	8,56	16,27	8,95	6,99	11,07	11,55	13,33	10,73	29,91	45,16	25,89	22,06	16,62
30	4,64	5,70	7,85	14,32	8,13	6,72	10,81	11,00	12,61	10,28	30,92	47,25	28,61	13,55	20,93
Médias	9,73	14,10	17,51	20,29	15,41	12,85	15,78	16,31	16,91	15,47	24,28	10,67	7,34	19,97	0,37

Tabela 4.8 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 40°C e 25% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X _o = 25 e T= 40°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	24,51	26,14	25,68	25,45	25,45	23,76	24,18	24,29	24,39	24,15	3,17	8,12	5,73	4,33	5,36
2	22,94	26,61	26,38	26,15	25,52	22,94	23,81	23,91	24,15	23,70	0,02	11,77	10,35	8,26	7,67
3	21,29	26,53	26,62	26,61	25,26	21,86	22,92	23,32	23,91	23,00	2,61	15,75	14,17	11,30	9,82
4	19,55	26,32	26,54	26,85	24,82	21,01	22,47	22,72	23,60	22,45	6,95	17,12	16,79	13,79	10,55
5	17,73	26,12	26,33	26,76	24,24	20,02	21,80	22,25	23,17	21,81	11,43	19,81	18,35	15,50	11,15
6	16,09	25,90	26,12	26,54	23,66	19,16	21,32	21,64	22,85	21,25	16,04	21,46	20,70	16,13	11,37
7	14,86	25,24	25,91	26,34	23,09	18,51	20,94	21,18	22,62	20,81	19,74	20,56	22,31	16,46	10,94
8	13,86	24,56	25,69	26,12	22,56	18,02	20,53	20,68	22,41	20,41	23,07	19,66	24,20	16,57	10,54
9	13,03	23,62	25,47	25,91	22,01	17,50	20,11	20,20	22,22	20,01	25,54	17,43	26,11	16,61	10,01
10	12,31	22,58	25,47	25,69	21,51	16,97	19,68	19,67	22,06	19,59	27,44	14,76	29,51	16,45	9,79
11	11,68	21,63	25,24	25,47	21,01	16,41	19,25	19,14	21,85	19,16	28,83	12,38	31,85	16,56	9,63
12	11,12	20,38	25,24	25,25	20,50	15,96	18,84	18,79	21,58	18,79	30,31	8,15	34,32	17,01	9,08
14	10,16	18,04	25,01	24,78	19,50	14,96	18,04	18,04	21,08	18,03	32,09	0,00	38,61	17,58	8,15
16	9,36	15,37	24,76	24,77	18,56	13,91	17,20	17,30	20,48	17,22	32,73	10,64	43,11	20,97	7,77
18	8,68	13,38	24,07	24,52	17,66	12,84	16,36	16,54	19,91	16,41	32,42	18,21	45,57	23,13	7,60
20	8,09	11,95	22,79	24,26	16,77	11,76	15,47	15,74	19,32	15,57	31,23	22,76	44,83	25,55	7,68
22	7,56	10,84	21,17	24,03	15,90	10,86	14,48	14,95	19,05	14,84	30,41	25,15	41,59	26,14	7,17
24	7,10	9,93	19,21	23,99	15,06	9,93	13,58	14,22	18,41	14,04	28,53	26,85	35,07	30,31	7,30
26	6,69	9,16	17,08	23,99	14,23	9,06	12,92	13,70	17,90	13,39	26,17	29,08	24,70	34,06	6,25
29	6,14	8,21	13,84	23,50	12,92	8,06	12,08	12,41	17,28	12,46	23,83	32,02	11,51	36,01	3,72
32	5,67	7,43	11,67	22,12	11,72	7,03	10,99	10,99	16,45	11,37	19,38	32,37	6,15	34,43	3,11
35	5,25	6,78	10,15	19,97	10,54	6,10	10,03	9,98	15,44	10,39	13,97	32,43	1,67	29,32	1,44
38	4,88	6,22	9,00	17,25	9,34	5,49	9,00	8,97	14,14	9,40	11,07	30,92	0,36	22,02	0,63
41	4,55	5,73	8,08	13,92	8,07	4,92	7,83	8,10	12,63	8,37	7,48	26,82	0,22	10,20	3,58
Médias	11,80	17,44	21,56	24,18	18,75	14,46	17,24	17,45	20,29	17,36	18,43	1,17	23,59	19,17	7,99

Tabela 4.9 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 40°C e 30% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X ₀ = 30 e T= 40°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	29,80	31,07	30,64	30,21	30,43	28,81	29,16	29,49	29,75	29,31	3,43	6,54	3,89	1,53	3,84
2	28,60	31,72	31,28	30,85	30,62	28,02	28,78	29,15	29,43	28,85	2,06	10,22	7,29	4,81	6,14
3	27,00	31,94	31,72	31,29	30,49	26,67	28,21	28,42	29,13	28,11	1,23	13,21	11,61	7,42	8,47
4	25,54	31,71	31,94	31,51	30,18	25,91	27,83	28,04	28,94	27,68	1,42	13,94	13,92	8,88	9,04
5	24,13	31,32	31,53	31,73	29,68	25,41	27,52	27,73	28,77	27,36	5,03	13,80	13,71	10,30	8,50
6	22,58	30,93	31,15	31,95	29,15	24,69	27,17	27,22	28,50	26,90	8,55	13,83	14,45	12,10	8,38
7	21,22	30,52	30,74	31,55	28,51	23,96	26,75	26,79	28,18	26,42	11,43	14,11	14,73	11,94	7,91
8	19,67	30,31	30,54	31,16	27,92	23,43	26,41	26,36	27,98	26,05	16,05	14,77	15,86	11,35	7,20
9	18,11	30,10	30,33	30,76	27,33	22,86	26,07	25,86	27,82	25,65	20,76	15,47	17,29	10,56	6,54
10	16,87	29,67	30,11	30,34	26,75	22,27	25,76	25,44	27,65	25,28	24,24	15,16	18,34	9,71	5,81
11	15,83	29,22	29,68	30,12	26,21	21,76	25,48	25,04	27,33	24,90	27,25	14,67	18,52	10,21	5,25
13	14,17	27,82	29,20	29,67	25,22	20,85	24,83	24,37	26,78	24,21	32,05	12,03	19,84	10,78	4,18
15	12,87	26,17	28,93	29,21	24,29	19,93	24,21	23,61	26,25	23,50	35,44	8,09	22,54	11,29	3,36
17	11,80	24,39	28,47	28,94	23,40	19,04	23,57	23,02	25,70	22,83	38,04	3,46	23,65	12,62	2,48
19	10,90	22,65	27,95	28,68	22,55	18,11	22,95	22,34	25,13	22,13	39,81	1,30	25,13	14,13	1,89
21	10,12	20,61	27,88	28,22	21,71	17,14	22,24	21,60	24,58	21,39	40,96	7,33	29,05	14,80	1,49
23	9,45	18,49	27,61	27,95	20,87	16,18	21,63	20,93	24,03	20,69	41,58	14,52	31,91	16,29	0,86
25	8,85	16,09	27,65	27,61	20,05	15,14	20,67	20,39	23,26	19,86	41,56	22,16	35,64	18,72	0,94
27	8,32	14,37	27,11	27,38	19,29	14,32	19,95	19,71	22,43	19,10	41,89	27,98	37,58	22,06	0,99
29	7,84	13,02	26,02	27,30	18,55	13,38	18,81	19,00	21,84	18,26	41,42	30,79	36,92	25,01	1,59
32	7,21	11,45	24,11	27,08	17,46	12,60	17,71	17,88	21,15	17,34	42,79	35,35	34,82	28,04	0,71
35	6,66	10,22	21,82	26,78	16,37	12,09	16,86	16,76	20,61	16,58	44,89	39,40	30,22	29,92	1,27
38	6,18	9,22	19,22	26,66	15,32	11,50	15,70	16,03	19,69	15,73	46,27	41,29	19,88	35,40	2,62

Continua

Continuação

Tabela 4.9 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 40°C e 30% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS ($X_0 = 30$ e $T = 40^\circ\text{C}$)															
	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
41	5,75	8,39	16,34	26,58	14,27	11,09	14,75	15,18	19,28	15,08	48,17	43,13	7,65	37,90	5,34
44	5,37	7,68	13,83	26,13	13,25	10,63	13,77	14,34	18,32	14,27	49,49	44,25	3,55	42,66	7,12
47	5,02	7,07	12,05	24,83	12,24	10,27	12,92	13,52	17,25	13,49	51,13	45,29	10,87	43,93	9,28
50	4,71	6,54	10,70	22,91	11,21	9,86	11,94	12,82	16,18	12,70	52,25	45,21	16,53	41,56	11,74
53	4,43	6,07	9,61	20,77	10,22	9,15	10,87	12,27	14,44	11,68	51,60	44,18	21,67	43,84	12,53
55	4,25	5,78	9,00	19,14	9,54	8,65	9,66	11,91	12,47	10,67	50,85	40,18	24,43	53,48	10,61
Médias	13,56	20,50	25,07	28,18	21,83	18,06	21,46	21,56	23,89	21,24	24,92	4,45	16,30	17,96	2,77

Tabela 4.10 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 50°C e 20% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X ₀ = 20 e T= 50°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	19,35	20,98	20,78	20,39	20,37	18,22	19,35	19,41	19,56	19,14	6,22	8,40	7,03	4,26	6,45
2	17,58	21,58	21,38	20,98	20,38	16,87	19,04	19,03	19,30	18,56	4,18	13,32	12,37	8,69	9,80
3	15,56	21,79	21,58	21,38	20,08	16,04	18,55	18,82	19,15	18,14	3,02	17,44	14,68	11,62	10,68
4	13,78	21,43	21,78	21,59	19,64	15,27	17,79	18,54	18,90	17,62	9,74	20,49	17,48	14,26	11,45
5	12,58	20,70	21,62	21,45	19,09	13,88	17,08	17,75	18,50	16,80	9,39	21,22	21,80	15,97	13,62
6	11,65	19,59	21,64	21,28	18,54	13,01	16,68	17,31	18,27	16,32	10,45	17,43	25,00	16,48	13,62
7	10,90	18,39	21,44	21,30	18,01	12,38	16,31	16,91	18,11	15,93	11,98	12,75	26,80	17,65	13,08
8	10,26	17,19	21,27	21,10	17,46	11,90	15,78	16,44	17,93	15,51	13,78	8,92	29,39	17,66	12,55
9	9,71	15,80	21,10	21,12	16,93	11,40	15,25	15,98	17,70	15,08	14,80	3,59	32,03	19,33	12,25
10	9,22	14,31	20,92	21,12	16,39	10,92	14,70	15,49	17,52	14,66	15,53	2,67	35,07	20,55	11,83
11	8,78	12,95	20,74	20,92	15,85	10,45	14,36	14,96	17,29	14,27	15,97	9,85	38,62	20,98	11,10
12	8,39	11,95	20,17	20,93	15,36	9,95	13,99	14,43	16,92	13,82	15,66	14,56	39,74	23,68	11,12
14	7,71	10,47	18,56	20,74	14,37	8,94	13,18	13,66	16,25	13,01	13,75	20,54	35,86	27,64	10,48
16	7,13	9,38	16,55	20,56	13,41	7,91	12,37	12,87	15,56	12,18	9,90	24,18	28,55	32,14	10,10
18	6,63	8,52	14,01	20,56	12,43	7,21	11,67	12,34	14,92	11,53	8,06	26,98	13,54	37,84	7,77
20	6,20	7,82	11,78	19,98	11,44	6,58	10,68	11,75	14,26	10,82	5,78	26,77	0,23	40,09	5,74
22	5,81	7,23	10,35	18,75	10,53	5,38	10,02	10,83	13,26	9,87	8,02	27,81	4,45	41,38	6,66
24	5,47	6,72	9,29	16,83	9,58	4,36	9,32	10,28	12,21	9,04	25,56	27,91	9,64	37,83	5,94
Médias	10,37	14,82	18,61	20,61	16,10	11,15	14,78	15,38	16,98	14,57	6,95	0,25	21,00	21,39	10,51

Tabela 4.11 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 50°C e 25% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X_o = 25 e T= 50°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	24,30	26,22	25,61	25,40	25,38	23,80	24,52	24,53	24,67	24,38	2,08	6,92	4,41	2,95	4,09
2	22,49	26,84	26,23	26,22	25,45	22,70	24,11	24,12	24,50	23,86	0,94	11,31	8,75	7,03	6,67
3	20,47	27,06	26,64	26,64	25,20	21,30	23,62	23,62	24,23	23,19	3,92	14,56	12,77	9,95	8,65
4	18,40	26,68	26,86	26,85	24,70	19,83	23,13	23,06	23,94	22,49	7,20	15,34	16,46	12,16	9,82
5	16,55	26,32	26,51	27,06	24,11	18,33	22,58	22,61	23,70	21,80	9,70	16,55	17,27	14,16	10,57
6	15,21	25,55	26,14	26,89	23,45	16,77	21,97	22,18	23,44	21,09	9,31	16,30	17,85	14,73	11,19
7	14,16	24,58	25,76	26,71	22,80	15,42	21,41	21,81	23,07	20,43	8,16	14,82	18,11	15,80	11,62
8	13,28	23,33	25,57	26,33	22,13	14,33	20,78	21,43	22,82	19,84	7,33	12,25	19,32	15,37	11,54
9	12,53	22,12	25,37	25,96	21,49	13,17	20,20	21,00	22,55	19,23	4,87	9,50	20,78	15,14	11,75
10	11,87	20,74	25,17	25,77	20,89	11,96	19,71	20,58	22,25	18,62	0,74	5,24	22,31	15,84	12,17
11	11,29	19,34	24,97	25,58	20,29	10,99	19,15	19,86	21,94	17,98	2,74	0,98	25,72	16,61	12,82
12	10,77	17,75	24,96	25,38	19,72	10,08	18,60	19,27	21,70	17,41	6,81	4,56	29,53	16,95	13,25
13	10,30	16,10	24,76	25,18	19,09	9,11	17,99	18,57	21,44	16,78	13,03	10,50	33,36	17,43	13,78
14	9,87	14,87	24,34	24,97	18,51	8,55	17,06	18,10	21,10	16,20	15,43	12,85	34,51	18,36	14,25
15	9,48	13,87	23,70	24,95	18,00	8,07	16,06	17,56	20,73	15,60	17,53	13,63	35,00	20,34	15,36
16	9,12	13,04	22,99	24,75	17,47	7,52	15,45	16,95	20,45	15,09	21,34	15,58	35,64	21,05	15,78
18	8,47	11,69	20,91	24,74	16,45	6,88	14,19	15,66	19,88	14,15	23,03	17,63	33,52	24,45	16,22
20	7,90	10,62	18,64	24,52	15,42	6,22	12,82	14,27	19,30	13,15	27,01	17,15	30,61	27,04	17,24
22	7,40	9,75	15,78	24,52	14,36	5,38	11,45	12,88	18,68	12,10	37,54	14,86	22,51	31,29	18,70
24	6,95	9,01	13,66	23,89	13,38	4,58	10,34	11,40	17,91	11,06	51,62	12,88	19,84	33,42	21,00
26	6,55	8,37	12,16	22,49	12,39	3,87	9,15	9,77	17,13	9,98	69,43	8,53	24,50	31,32	24,18
28	6,19	7,82	11,00	20,77	11,44	3,28	8,01	8,43	16,07	8,95	88,50	2,41	30,51	29,21	27,82
30	5,86	7,33	10,06	18,59	10,46	2,86	7,14	7,32	15,03	8,09	105,17	2,60	37,43	23,71	29,34

Continua...

Continuação

Tabela 4.11 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 50°C e 25% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS ($X_o = 25$ e $T = 50^\circ\text{C}$)															
	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
32	5,56	6,89	9,28	16,29	9,51	2,35	6,19	6,23	13,93	7,18	136,60	11,22	48,84	16,97	32,51
34	5,29	6,50	8,61	14,00	8,60	1,91	5,33	5,64	12,14	6,26	176,41	21,99	52,79	15,28	37,48
Médias	11,61	16,90	21,03	24,18	18,43	10,77	16,44	17,07	20,50	16,20	7,79	2,78	23,16	17,92	13,77

Tabela 4.12 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 50°C e 30% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X _o = 30 e T= 50°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	29,32	31,26	30,63	30,42	30,41	27,90	28,62	28,69	28,78	28,49	5,10	9,24	6,78	5,70	6,72
2	27,47	31,91	31,48	31,05	30,48	26,61	28,29	28,42	28,61	27,98	3,22	12,78	10,77	8,53	8,92
3	25,24	32,13	31,92	31,70	30,25	25,01	27,79	28,01	28,36	27,30	0,91	15,62	13,95	11,76	10,83
4	23,14	31,81	32,14	31,92	29,75	23,62	26,64	27,42	28,06	26,43	2,04	19,41	17,21	13,76	12,54
5	20,96	31,44	31,84	32,14	29,09	22,55	26,14	26,84	27,79	25,83	7,04	20,30	18,65	15,65	12,63
6	19,07	30,84	31,45	31,86	28,31	21,60	25,51	26,30	27,59	25,25	11,72	20,87	19,59	15,46	12,11
7	17,64	30,03	31,06	31,26	27,50	20,42	24,85	25,99	27,30	24,64	13,62	20,82	19,53	14,51	11,61
8	16,48	28,98	30,66	30,88	26,75	19,39	24,22	25,52	27,14	24,07	15,02	19,64	20,13	13,78	11,13
10	14,66	26,58	30,02	30,04	25,33	17,21	23,48	24,84	26,39	22,98	14,83	13,19	20,84	13,83	10,22
12	13,26	23,71	29,58	29,60	24,04	14,87	22,43	24,15	25,56	21,75	10,81	5,71	22,49	15,79	10,52
14	12,12	20,84	29,13	29,14	22,81	13,36	21,44	22,72	25,07	20,65	9,26	2,80	28,23	16,25	10,49
16	11,17	17,57	28,92	28,66	21,58	11,80	20,40	21,24	24,56	19,50	5,34	13,86	36,15	16,71	10,67
18	10,36	15,46	27,74	28,35	20,48	9,94	19,33	19,69	24,01	18,24	4,18	20,02	40,92	18,06	12,26
21	9,33	13,22	24,88	27,87	18,83	7,62	17,67	17,23	23,20	16,43	22,46	25,17	44,36	20,15	14,61
25	8,23	11,15	19,86	27,52	16,69	6,18	16,05	15,38	21,71	14,83	33,14	30,51	29,10	26,75	12,54
28	7,54	9,98	15,93	27,12	15,14	5,16	14,58	13,67	20,38	13,45	46,17	31,54	16,56	33,07	12,60
31	6,95	9,02	13,55	25,11	13,66	4,21	12,83	11,45	18,69	11,79	65,27	29,70	18,36	34,33	15,82
34	6,43	8,22	11,85	22,26	12,19	3,68	11,47	10,55	17,64	10,84	74,55	28,35	12,32	26,22	12,50
37	5,98	7,53	10,53	18,81	10,71	3,13	10,04	9,54	16,54	9,81	91,25	25,00	10,38	13,75	9,17
40	5,57	6,94	9,48	15,35	9,34	2,28	9,01	8,85	15,02	8,79	144,69	22,97	7,09	2,17	6,25
43	5,20	6,43	8,60	13,15	8,35	1,69	8,06	8,03	13,57	7,84	207,52	20,18	7,12	3,13	6,54
45	4,98	6,11	8,10	12,03	7,81	1,33	6,72	7,58	12,52	7,04	275,76	9,14	6,92	3,89	11,01
Médias	13,69	19,60	23,61	26,65	20,89	13,16	19,34	19,64	23,11	18,82	3,99	1,31	20,19	15,29	11,01

Tabela 4.13 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 60°C e 20% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X _o = 20 e T= 60°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	18,32	21,31	21,09	20,65	20,34	18,40	18,86	18,88	18,89	18,76	0,42	13,02	11,69	9,34	8,45
2	15,01	21,98	21,75	21,53	20,07	17,14	18,40	18,43	18,47	18,11	12,41	19,47	17,99	16,56	10,82
3	13,43	20,59	21,98	21,76	19,44	16,13	17,67	18,00	18,27	17,52	16,73	16,51	22,11	19,10	10,97
4	12,32	18,57	21,89	21,98	18,69	15,01	17,08	17,49	17,98	16,89	17,94	8,71	25,17	22,24	10,65
5	11,44	16,18	21,91	21,90	17,86	13,72	16,43	16,92	17,64	16,18	16,63	1,54	29,52	24,15	10,40
6	10,72	14,13	21,48	21,70	17,01	13,10	15,89	16,59	17,29	15,72	18,17	11,09	29,47	25,51	8,22
7	10,11	12,83	20,24	21,50	16,17	12,03	15,26	16,21	16,78	15,07	15,99	15,95	24,87	28,13	7,29
8	9,57	11,85	18,57	21,53	15,38	11,23	14,81	15,98	16,39	14,60	14,79	19,97	16,21	31,33	5,32
9	9,10	11,06	16,62	21,53	14,58	10,42	14,20	15,42	16,02	14,01	12,71	22,10	7,80	34,39	4,03
10	8,68	10,40	14,36	21,53	13,74	9,71	13,50	14,98	15,60	13,45	10,58	22,97	4,12	38,06	2,19
11	8,30	9,83	12,99	20,88	13,00	9,14	12,46	14,51	15,18	12,82	9,14	21,08	10,45	37,52	1,40
12	7,95	9,33	11,98	19,64	12,22	8,41	11,73	14,04	14,83	12,25	5,52	20,44	14,70	32,41	0,28
13	7,63	8,88	11,17	18,10	11,45	7,83	11,00	13,17	14,40	11,60	2,57	19,25	15,21	25,71	1,29
14	7,34	8,48	10,49	16,27	10,64	7,37	10,18	12,28	13,79	10,91	0,47	16,69	14,57	17,98	2,44
15	7,06	8,12	9,91	14,18	9,82	6,64	9,83	11,50	13,25	10,31	6,26	17,41	13,81	6,99	4,72
16	6,81	7,78	9,40	12,87	9,21	5,93	9,41	11,10	12,72	9,79	14,91	17,32	15,33	1,21	5,91
17	6,57	7,48	8,94	11,88	8,72	5,29	9,14	10,69	12,26	9,34	24,28	18,12	16,35	3,13	6,67
Médias	10,02	12,87	16,16	19,38	14,61	11,03	13,87	15,07	15,87	13,96	11,74	7,22	7,25	22,12	4,64

Tabela 4.14 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 60°C e 25% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X ₀ = 25 e T= 60°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	21,00	26,60	26,59	26,26	25,11	22,79	23,58	23,80	23,96	23,53	7,85	12,80	11,72	9,59	6,70
2	18,06	24,45	27,24	26,91	24,17	20,90	22,45	23,14	23,60	22,52	13,57	8,90	17,70	14,04	7,32
3	16,32	20,65	27,22	26,95	22,78	19,35	21,38	22,86	23,36	21,74	15,66	3,39	19,06	15,36	4,80
4	15,03	17,89	25,65	26,64	21,30	17,47	19,32	22,40	23,12	20,58	13,95	7,39	14,50	15,24	3,52
5	14,01	16,20	22,62	26,67	19,87	15,97	17,57	21,74	22,80	19,52	12,28	7,78	4,04	17,00	1,80
7	12,42	13,93	16,74	24,77	16,96	13,84	16,50	20,53	21,98	18,21	10,27	15,56	18,48	12,68	6,88
8	11,78	13,09	15,36	21,96	15,55	12,72	15,53	19,72	21,41	17,34	7,40	15,71	22,11	2,58	10,35
9	11,21	12,36	14,27	18,46	14,08	11,73	14,91	19,24	21,12	16,75	4,42	17,08	25,85	12,60	15,94
10	10,69	11,73	13,38	16,59	13,10	10,68	14,16	18,68	20,49	16,00	0,09	17,17	28,38	19,03	18,14
11	10,23	11,16	12,61	15,25	12,31	9,73	13,46	18,06	20,00	15,31	5,18	17,09	30,19	23,74	19,60
12	9,81	10,66	11,95	14,18	11,65	8,96	12,75	17,43	19,21	14,59	9,51	16,37	31,45	26,19	20,14
13	9,42	10,20	11,36	13,30	11,07	8,18	12,02	16,79	18,39	13,84	15,20	15,16	32,32	27,68	20,04
14	9,06	9,77	10,83	12,55	10,55	7,37	11,32	16,04	17,59	13,08	22,95	13,69	32,47	28,65	19,34
15	8,73	9,39	10,36	11,89	10,09	6,54	10,56	14,98	16,73	12,20	33,51	11,06	30,86	28,92	17,31
16	8,42	9,03	9,92	11,31	9,67	5,71	9,76	13,82	15,29	11,14	47,50	7,49	28,23	26,01	13,23
17	8,13	8,70	9,52	10,79	9,28	5,12	8,88	12,75	13,76	10,13	58,86	2,02	25,34	21,56	8,35
18	7,86	8,39	9,16	10,31	8,93	4,51	7,87	11,35	12,25	9,00	74,21	6,59	19,29	15,84	0,73
Médias	11,89	13,78	16,16	18,52	15,09	11,86	14,82	18,43	19,71	16,21	0,31	7,07	12,31	6,05	6,90

Tabela 4.15 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 60°C e 30% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X ₀ = 30 e T= 60°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	26,73	31,77	31,47	31,17	30,28	29,09	29,48	29,97	29,89	29,61	8,11	7,76	5,01	4,30	2,28
2	22,29	31,66	32,07	32,07	29,52	27,55	28,85	29,69	29,78	28,97	19,10	9,73	8,03	7,69	1,90
3	20,00	29,06	31,93	32,37	28,34	26,31	28,00	29,35	29,55	28,30	23,97	3,79	8,79	9,54	0,14
4	18,36	25,79	31,66	31,91	26,93	25,06	27,18	28,92	29,41	27,64	26,74	5,10	9,48	8,51	2,57
5	17,07	21,93	31,40	31,68	25,52	23,50	26,21	28,57	29,32	26,90	27,35	16,33	9,90	8,04	5,13
6	16,01	19,76	29,67	31,40	24,21	22,39	25,68	27,88	29,23	26,29	28,49	23,05	6,41	7,42	7,93
7	15,09	18,18	27,03	31,13	22,86	20,92	24,75	27,25	28,91	25,46	27,87	26,55	0,80	7,69	10,20
8	14,30	16,92	24,16	30,85	21,56	19,76	24,16	26,45	28,51	24,72	27,63	29,97	8,67	8,20	12,79
9	13,60	15,88	21,14	30,28	20,22	18,19	23,38	25,89	27,87	23,83	25,25	32,07	18,34	8,65	15,16
10	12,97	14,99	19,21	28,82	18,99	16,62	22,61	25,33	27,43	23,00	21,98	33,70	24,16	5,08	17,43
11	12,40	14,21	17,75	26,64	17,75	15,29	20,99	24,88	27,20	22,09	18,89	32,31	28,65	2,06	19,64
12	11,88	13,51	16,57	24,03	16,50	13,95	20,27	23,97	26,83	21,25	14,84	33,36	30,86	10,42	22,37
13	11,41	12,89	15,58	21,07	15,24	12,33	19,38	22,91	26,35	20,24	7,44	33,50	32,00	20,03	24,71
14	10,97	12,33	14,72	19,15	14,29	11,16	18,72	22,30	25,84	19,51	1,74	34,15	34,00	25,90	26,75
15	10,56	11,82	13,97	17,71	13,52	10,12	17,87	21,48	25,63	18,78	4,31	33,84	34,97	30,91	27,99
17	9,83	10,91	12,71	15,55	12,25	8,27	15,93	20,00	24,99	17,30	18,85	31,52	36,45	37,76	29,18
19	9,19	10,14	11,66	13,95	11,24	6,43	14,41	18,97	24,47	16,07	42,94	29,63	38,52	42,98	30,05
21	8,62	9,46	10,78	12,69	10,39	5,11	12,21	17,90	23,28	14,62	68,71	22,50	39,77	45,48	28,95
23	8,12	8,86	10,02	11,65	9,66	3,28	9,82	16,79	21,68	12,89	147,76	9,80	40,34	46,27	25,08
25	7,66	8,33	9,36	10,77	9,03	2,78	8,46	14,64	19,43	11,33	175,60	1,57	36,06	44,57	20,28
28	7,05	7,63	8,50	9,67	8,21	1,92	6,73	12,00	17,16	9,45	267,49	13,38	29,17	43,64	13,13
31	6,52	7,03	7,78	8,76	7,52	1,38	5,46	9,09	14,69	7,66	372,49	28,74	14,44	40,37	1,78
34	6,05	6,50	7,16	8,00	6,93	1,02	4,20	7,76	12,68	6,41	491,93	54,94	7,73	36,92	8,03
Médias	12,90	15,63	18,97	22,23	17,43	14,02	18,90	22,26	25,22	20,10	7,99	17,30	14,78	11,86	13,27

Tabela 4.16 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 70°C e 20% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X _o = 20% e T= 70°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	16,8	21,7	21,2	21	20,17	19,96	20,16	20,66	20,75	20,38	16,08	7,76	2,73	1,05	1,03
2	14,4	20,1	21,7	21,7	19,49	17,98	19,58	20,40	20,63	19,65	19,79	2,53	6,53	5,30	0,80
3	13	16,8	22	22	18,44	15,85	19,08	20,08	20,51	18,88	17,81	12,17	9,47	7,19	2,33
4	12	14,4	20,8	22	17,31	13,42	18,21	19,78	20,37	17,95	10,50	20,76	5,09	8,06	3,54
5	11,2	13	18,2	22	16,12	11,36	17,24	19,23	20,11	16,98	1,48	24,38	5,19	9,46	5,09
6	10,5	12	15	22	14,88	9,89	16,59	18,80	19,82	16,28	6,26	27,56	20,28	11,05	8,58
7	9,93	11,2	13,4	20,5	13,77	8,38	15,74	18,02	19,49	15,41	18,51	28,85	25,52	5,36	10,63
8	9,41	10,5	12,3	18,2	12,62	7,56	14,92	17,52	19,01	14,75	24,39	29,54	29,75	4,07	14,47
9	8,96	9,93	11,4	15	11,33	6,16	13,58	16,70	18,44	13,72	45,57	26,87	31,55	18,69	17,40
10	8,55	9,42	10,7	13,4	10,53	5,41	13,01	16,08	17,88	13,10	57,94	27,62	33,40	24,94	19,60
11	8,18	8,96	10,1	12,3	9,89	4,61	12,15	15,22	17,40	12,34	77,61	26,28	33,63	29,24	19,88
12	7,84	8,55	9,57	11,4	9,35	3,61	11,14	14,49	16,75	11,50	117,08	23,25	33,96	31,68	18,67
13	7,53	8,18	9,1	10,7	8,88	2,80	10,43	13,82	15,97	10,76	168,56	21,55	34,16	32,88	17,44
14	7,24	7,84	8,67	10,1	8,47	2,14	9,66	12,94	14,99	9,93	239,09	18,84	32,97	32,61	14,70
15	6,98	7,53	8,29	9,57	8,09	1,46	9,13	12,27	13,96	9,21	376,91	17,52	32,44	31,44	12,12
16	6,73	7,24	7,94	9,1	7,75	0,81	8,48	11,11	12,59	8,25	732,01	14,66	28,52	27,73	6,04
Médias	9,95	11,71	13,78	16,32	12,94	8,21	14,32	16,69	18,04	14,32	21,20	18,20	17,46	9,53	9,60

Tabela 4.17 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 70°C e 25% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X _o = 25% e T= 70°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	19,07	25,11	26,62	26,61	24,35	23,57	24,73	25,18	25,14	24,66	19,09	1,52	5,71	5,85	1,24
2	16,98	19,07	25,90	27,44	22,35	20,32	22,73	24,57	24,97	23,15	16,43	16,11	5,40	9,90	3,45
3	15,54	16,99	19,87	27,40	19,95	18,07	22,00	23,71	24,66	22,11	13,99	22,76	16,18	11,11	9,76
4	14,42	15,54	17,47	22,96	17,60	16,12	20,86	23,01	24,09	21,02	10,53	25,51	24,08	4,67	16,26
5	13,50	14,42	15,90	18,78	15,65	14,73	20,05	22,17	23,78	20,18	8,37	28,08	28,27	21,03	22,46
6	12,72	13,50	14,71	16,80	14,43	12,90	19,07	21,18	23,43	19,15	1,43	29,23	30,56	28,29	24,64
7	12,04	12,72	13,74	15,40	13,48	11,55	18,45	20,52	23,06	18,40	4,26	31,05	33,06	33,23	26,72
8	11,44	12,04	12,92	14,31	12,68	10,00	17,45	19,66	22,69	17,45	14,41	31,00	34,27	36,94	27,33
9	10,91	11,44	12,22	13,41	11,99	8,80	16,82	18,88	22,14	16,66	23,98	31,99	35,28	39,44	28,04
10	10,42	10,91	11,60	12,64	11,39	7,67	16,13	17,84	21,36	15,75	35,83	32,36	34,97	40,82	27,68
11	9,98	10,42	11,05	11,97	10,86	6,50	15,14	16,90	20,41	14,74	53,45	31,19	34,60	41,35	26,31
12	9,58	9,98	10,55	11,38	10,37	5,25	14,10	15,99	19,12	13,62	82,52	29,24	34,03	40,47	23,83
13	9,21	9,58	10,10	10,85	9,94	4,29	13,04	15,27	18,01	12,65	114,78	26,53	33,86	39,76	21,44
14	8,87	9,21	9,69	10,37	9,53	3,50	12,28	14,25	16,51	11,64	153,54	24,98	32,01	37,21	18,10
15	8,55	8,87	9,31	9,94	9,16	2,73	11,18	12,65	14,56	10,28	212,97	20,68	26,39	31,71	10,89
16	8,25	8,55	8,96	9,54	8,82	1,48	9,94	11,52	12,63	8,89	458,01	14,01	22,19	24,46	0,80
Médias	11,97	13,02	14,41	16,24	13,91	10,47	17,12	18,96	21,03	16,90	14,33	23,96	23,97	22,81	17,67

Tabela 4.18 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 70°C e 30% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X _o = 30% e T= 70°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	26,80	31,82	31,29	31,03	30,24	27,52	28,51	28,61	28,81	28,36	2,61	11,59	9,35	7,69	6,61
2	22,31	31,65	32,09	32,09	29,54	26,25	28,17	28,38	28,74	27,88	15,01	12,34	13,09	11,67	5,94
3	20,01	29,12	32,36	32,36	28,46	25,45	27,79	28,33	28,71	27,57	21,37	4,77	14,23	12,72	3,23
4	18,37	25,72	32,14	32,14	27,09	23,08	26,73	27,34	28,40	26,39	20,42	3,76	17,55	13,15	2,66
5	17,08	21,90	31,66	31,67	25,58	21,80	25,89	26,87	28,16	25,68	21,66	15,41	17,83	12,46	0,39
6	16,01	19,74	29,90	31,18	24,21	20,66	25,26	26,23	27,93	25,02	22,50	21,87	14,01	11,63	3,24
7	15,10	18,16	27,34	30,95	22,89	19,45	24,57	25,84	27,51	24,34	22,35	26,09	5,81	12,50	5,96
8	14,31	16,91	24,31	30,71	21,56	18,13	23,77	25,00	27,29	23,55	21,06	28,85	2,77	12,55	8,43
9	13,60	15,87	21,22	30,20	20,22	16,84	22,89	24,37	26,97	22,77	19,22	30,65	12,94	11,96	11,19
10	12,97	14,98	19,26	28,65	18,96	15,70	22,30	24,01	26,69	22,18	17,39	32,82	19,80	7,33	14,50
11	12,40	14,20	17,79	26,42	17,70	14,46	21,23	23,25	26,30	21,31	14,26	33,10	23,48	0,47	16,93
12	11,89	13,51	16,61	23,75	16,44	13,23	20,45	22,30	25,98	20,49	10,16	33,93	25,51	8,58	19,77
13	11,41	12,89	15,61	20,90	15,20	12,25	19,76	21,56	25,68	19,81	6,89	34,78	27,58	18,62	23,29
14	10,97	12,32	14,75	19,04	14,27	11,22	19,04	20,93	25,68	19,22	2,21	35,31	29,53	25,86	25,75
15	10,56	11,81	14,00	17,61	13,50	10,06	18,31	20,30	25,19	18,47	4,94	35,51	31,03	30,10	26,90
17	9,83	10,91	12,73	15,48	12,24	8,29	16,51	18,95	23,59	16,84	18,61	33,93	32,84	34,38	27,30
19	9,19	10,13	11,68	13,90	11,23	6,62	15,13	17,84	22,61	15,55	38,92	33,04	34,52	38,54	27,78
21	8,62	9,46	10,80	12,65	10,38	5,31	13,41	16,65	20,95	14,08	62,29	29,44	35,14	39,61	26,27
23	8,12	8,86	10,03	11,61	9,66	3,59	11,70	15,19	18,65	12,28	126,01	24,30	33,97	37,75	21,37
26	7,45	8,08	9,07	10,35	8,74	2,12	9,89	13,30	15,89	10,30	250,91	18,32	31,82	34,87	15,17
29	6,87	7,42	8,26	9,33	7,97	0,92	7,52	11,11	12,62	8,04	645,61	1,30	25,67	26,09	0,92
Média	13,52	16,45	20,14	23,43	18,38	14,43	20,42	22,21	24,88	20,48	6,30	19,44	9,32	5,81	10,24

Tabela 4.19 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 80°C e 20% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X _o = 20% e T= 80°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	15,25	21,37	21,62	21,35	19,90	15,33	19,74	19,99	20,08	18,79	0,53	8,25	8,16	6,31	5,93
2	13,59	17,39	22,18	21,90	18,76	11,72	18,17	19,08	19,74	17,18	15,97	4,27	16,24	10,92	9,21
3	12,43	14,70	19,99	22,18	17,33	8,59	16,58	18,02	19,19	15,60	44,71	11,32	10,92	15,55	11,12
4	11,54	13,23	15,81	22,17	15,69	7,18	15,61	17,09	18,51	14,60	60,72	15,25	7,48	19,80	7,49
5	10,80	12,16	13,92	19,73	14,15	5,57	14,56	16,47	18,06	13,67	93,75	16,50	15,47	9,26	3,54
6	10,18	11,32	12,68	15,80	12,49	4,65	13,28	16,18	17,85	12,99	118,88	14,77	21,65	11,47	3,85
7	9,63	10,61	11,74	13,92	11,48	3,97	11,98	15,90	17,65	12,37	142,65	11,42	26,16	21,14	7,23
8	9,15	10,02	10,97	12,68	10,70	3,24	10,99	15,33	17,36	11,73	182,58	8,82	28,43	26,97	8,78
9	8,73	9,49	10,32	11,73	10,07	2,65	10,07	14,91	17,10	11,18	229,19	5,75	30,81	31,41	9,96
10	8,34	9,03	9,76	10,96	9,52	2,05	9,44	14,44	16,57	10,63	306,39	4,34	32,43	33,86	10,42
11	7,99	8,61	9,26	10,32	9,04	1,54	8,48	13,72	15,94	9,92	417,30	1,59	32,52	35,25	8,87
12	7,66	8,24	8,82	9,75	8,62	1,04	7,48	12,99	15,00	9,13	637,76	10,20	32,10	35,00	5,55
13	7,37	7,89	8,43	9,26	8,24	0,51	6,87	12,36	13,72	8,36	1335,95	14,82	31,78	32,49	1,49
14	7,09	7,58	8,07	8,82	7,89	0,19	6,35	11,77	12,56	7,72	3683,86	19,39	31,42	29,78	2,25
Médias	9,98	11,55	13,11	15,04	12,42	4,87	12,11	15,59	17,10	12,42	104,80	4,69	15,89	12,02	0,01

Tabela 4.20 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 80°C e 25% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X _o = 25% e T= 80°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	19,00	19,07	26,64	26,64	22,84	22,94	23,92	23,65	24,32	23,71	17,19	20,29	12,63	9,54	3,68
2	16,08	16,98	18,97	23,39	18,86	20,82	22,92	22,87	23,81	22,60	22,78	25,91	17,04	1,77	16,59
3	15,24	15,54	16,92	18,88	16,65	18,14	21,79	21,91	23,37	21,30	16,01	28,69	22,78	19,20	21,87
4	14,22	14,42	15,49	16,87	15,25	14,93	20,53	20,59	22,73	19,69	4,74	29,75	24,77	25,79	22,57
5	13,21	13,50	14,38	15,45	14,14	12,50	19,31	19,77	22,21	18,45	5,68	30,10	27,26	30,43	23,38
6	12,12	12,72	13,47	14,35	13,17	9,83	17,62	18,35	21,59	16,85	23,33	27,79	26,59	33,55	21,85
7	11,90	12,04	12,69	13,44	12,52	8,27	16,48	17,53	20,82	15,78	43,93	26,96	27,63	35,46	20,66
8	10,99	11,44	12,02	12,67	11,78	6,65	15,26	16,85	20,11	14,72	65,17	25,04	28,66	37,00	19,97
9	10,13	10,91	11,42	12,00	11,12	4,43	13,23	15,71	19,33	13,18	128,89	17,55	27,32	37,92	15,64
10	9,97	10,42	10,89	11,40	10,67	2,99	12,27	14,47	18,83	12,14	232,99	15,10	24,72	39,47	12,12
11	9,28	9,98	10,41	10,87	10,14	1,98	11,28	13,17	17,86	11,07	368,18	11,54	20,95	39,15	8,48
12	8,69	9,58	9,97	10,39	9,66	1,16	9,69	11,79	16,64	9,82	649,13	1,11	15,44	37,57	1,66
13	8,13	9,21	9,57	9,95	9,22	0,82	8,38	10,61	15,31	8,78	892,59	9,86	9,77	35,03	4,94
14	7,01	8,87	9,20	9,55	8,66	0,39	7,28	9,79	14,14	7,90	1683,64	21,87	6,06	32,46	9,57
15	6,37	8,15	8,25	8,38	7,79	0,27	6,95	8,51	12,84	7,14	2220,24	17,34	3,04	34,74	9,03
Médias	11,49	12,19	13,35	14,28	12,83	8,41	15,13	16,37	19,60	14,88	36,63	19,43	18,44	27,12	13,77

Tabela 4.21 Apresentação dos Desvios entre dados simulados e experimentais da secagem com 80°C e 30% de teor de água.

DADOS SIMULADOS X EXPERIMENTAIS (X _o = 30% e T= 80°C)															
(h)	SIMULADOS					EXPERIMENTAIS					DESVIO PERCENTUAL				
	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média	1ª	2ª	3ª	4ª	Média
1	22,88	24,55	32,22	32,21	27,96	27,94	28,61	28,60	28,75	28,47	18,11	14,18	12,66	12,03	1,81
2	20,38	21,35	22,73	31,64	24,02	25,16	28,03	28,21	28,56	27,49	19,01	23,84	19,43	10,77	12,63
3	18,65	19,35	20,28	22,80	20,27	22,38	27,05	27,96	28,37	26,44	16,67	28,45	27,47	19,63	23,33
4	17,30	17,86	18,58	20,33	18,52	19,59	25,62	27,65	28,26	25,28	11,67	30,28	32,80	28,07	26,74
5	16,20	16,66	17,25	18,61	17,18	17,54	24,48	27,07	27,89	24,25	7,64	31,94	36,29	33,27	29,14
6	15,26	15,66	16,15	17,28	16,09	15,53	23,52	26,48	27,39	23,23	1,76	33,42	39,00	36,92	30,74
7	14,45	14,80	15,22	16,18	15,16	13,70	22,65	25,56	26,93	22,21	5,44	34,65	40,44	39,93	31,74
8	13,73	14,04	14,41	15,24	14,35	11,98	21,55	24,65	26,48	21,17	14,59	34,86	41,54	42,45	32,20
9	13,09	13,36	13,70	14,43	13,64	10,60	20,66	24,05	26,18	20,37	23,51	35,32	43,04	44,88	33,04
10	12,51	12,76	13,06	13,71	13,01	9,41	19,84	23,64	25,70	19,65	33,01	35,69	44,75	46,66	33,78
11	11,98	12,21	12,48	13,07	12,43	8,35	19,03	22,70	25,49	18,89	43,55	35,84	45,01	48,73	34,20
12	11,50	11,70	11,95	12,49	11,91	7,29	18,30	21,80	25,16	18,14	57,84	36,06	45,18	50,36	34,33
13	11,05	11,24	11,47	11,97	11,43	6,36	17,35	20,97	24,50	17,29	73,71	35,21	45,31	51,13	33,91
14	10,64	10,82	11,03	11,48	10,99	5,49	16,34	20,62	24,10	16,64	93,81	33,78	46,51	52,36	33,94
15	10,26	10,42	10,62	11,04	10,58	4,45	15,28	20,04	22,86	15,66	130,60	31,83	47,02	51,71	32,44
17	9,56	9,71	9,88	10,25	9,85	3,32	13,37	18,49	20,32	13,88	187,58	27,36	46,56	49,57	29,02
19	8,95	9,08	9,23	9,56	9,21	2,12	11,81	16,36	17,91	12,05	321,48	23,09	43,59	46,62	23,57
21	8,41	8,53	8,66	8,95	8,64	1,08	10,53	13,87	15,11	10,15	679,84	18,98	37,55	40,78	14,85
23	7,92	8,03	8,15	8,41	8,13	0,99	8,83	11,61	12,55	8,50	697,78	9,03	29,81	33,01	4,31
Médias	13,41	13,80	14,58	15,77	14,39	11,23	19,62	22,65	24,34	19,46	19,43	29,69	35,62	35,22	26,07