



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS**



**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: SIMULAÇÃO DE PROCESSOS E SECAGEM
DE SÓLIDOS**

TESE

**PROCESSO DE DESINTOXICAÇÃO DA TORTA DE MAMONA DESTINADA
À RAÇÃO ANIMAL: SECAGEM E SIMULAÇÃO**

MARCONDES BARRETO DE SOUSA

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
FEVEREIRO – 2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS**



**PROCESSO DE DESINTOXICAÇÃO DATORTA DE MAMONA DESTINADA
À RAÇÃO ANIMAL: SECAGEM E SIMULAÇÃO**

MARCONDES BARRETO DE SOUSA

Tese de Doutorado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Processos.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Simulação de Processos e Secagem de Sólidos

ORIENTADORES

Prof. Dr. MARIO EDUARDO R. MOREIRA CAVALCANTI MATA

Prof^ª. Dr^a. MARIA ELITA MARTINS DUARTE

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

FEVEREIRO – 2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DE DOUTORADO

MARCONDES BARRETO DE SOUSA

PROCESSO DE DESINTOXICAÇÃO DA TORTA DE MAMONA DESTINADA
À RAÇÃO ANIMAL: SECAGEM E SIMULAÇÃO

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Mário Eduardo R. M. Cavalcanti Mata
Prof. Dr. MÁRIO EDUARDO R. M. CAVALCANTI MATA
(Orientador - DEAG/UFCG)

APROVADO

Maria Elita Martins Duarte
Prof.ª Dr.ª MARIA ELITA MARTINS DUARTE
(Orientadora - DEAG/UFCG)

APROVADO

Ana Paula Trindade Rocha
Prof.ª Dr.ª ANA PAULA TRINDADE ROCHA
(Examinadora - DEAG/UFCG)

APROVADO

Renato Fonseca Aragão
Prof. Dr. RENATO FONSECA ARAGÃO
(Examinador - DEAG/UFCG)

APROVADO

Severina de Sousa
Prof.ª Dr.ª SEVERINA DE SOUSA
(Examinadora - DEAG/UFCG)

APROVADO

Gabriel Francisco da Silva
Prof. Dr. GABRIEL FRANCISCO DA SILVA
(Examinador - DEQ/UFS)

APROVADO

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

FEVEREIRO – 2013

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre.”

Paulo Freire

“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir.”

Cora Coralina

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas graças recebidas e por me iluminar e me proteger em toda esta caminhada, não me abandonando nas horas difíceis, dando-me força, sabedoria, inteligência e coragem para seguir em frente e superar mais esta etapa da minha vida.

A minha esposa, Isabel Cristina da Rocha Sampaio, e a meus filhos Salviano Sampaio Barreto e Samuel Sampaio Barreto, a meus pais, Benedito de Araujo Barreto e Irani Felix de Sousa e as minhas irmãs, Vilani de Araujo e Clemilda Barreto, pelo apoio, incentivo e força; enfim, por tudo que fizeram por mim nesta caminhada. Por tudo, meu muito obrigado.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais e ao Laboratório de Meios Porosos e Sistema Particulares da Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pela oportunidade em prol da realização deste trabalho.

Ao Departamento de Tecnologia Química de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Campus I, João Pessoa, PB., pelo apoio nas análises físico-química e químicas do material experimental.

Ao Laboratório de Química e Função de Proteínas e Peptídeos - LQFPP da Universidade Estadual do Norte Fluminense - Darcy Ribeiro (UENF), Rio de Janeiro, em nome da Professora Dra. Olga Lima Tavares Machado, e ao pós-graduando Keysson Vieira, meus sinceros agradecimentos pelo apoio na realização das análises de alérgenos e toxinas.

À CAPES, pela bolsa concedida.

Aos professores orientadores Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata e Maria Elita Martins Duarte, pela orientação, amizade e incentivo durante a execução deste trabalho.

Aos pesquisadores Severina de Sousa e Renato Fonseca Aragão, ambos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pela disponibilidade e ajuda durante esta caminhada, pois foram inúmeras as vezes que busquei o apoio de vocês.

À secretária da Coordenação de Pós-Graduação, Maria de Fatima, pela atenção, colaboração e amizade.

Aos muitos amigos conquistados: Hermeval, João Carlos, José Carlos, Luzia Márcia, Silas, Júlio Cezar, Flávio, Rildo, Luizinho, Jaziel, Mozaniel, Regilane e Adriano Santana, pela amizade, companheirismo e solidariedade.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a finalização deste trabalho.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xvii
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xx
1- INTRODUÇÃO	1
1.1- JUSTIFICATIVA	3
1.2- OBJETIVOS	5
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 – A mamoneira	6
2.1.1 – Características botânicas	6
2.1.2 – O fruto	7
2.1.3 – A semente	7
2.1.4 – Importância Socioeconômica	8
2.2 – Produtos da mamona	11
2.2.1 – Óleo	11
2.2.2 – Torta	13
2.3 – Toxicidade da torta de mamona	14
2.3.1 – Ricina	15
2.3.2 – Ricinina	16
2.3.3 – Fração alergênica (CB-1A)	18
2.4 – Desintoxicação da torta de mamona	19
2.5 – Torta de mamona como alimento animal	21
2.6 – Caracterização química e físico-química da torta de mamona	23
2.6.1 – Teor de água	23
2.6.2 – Teor de óleo	24
2.6.3 – Proteína bruta	25
2.6.4 – Carboidratos	26
2.6.5 – Ricina	27
2.6.6 – Potencial de Hidrogênio (pH)	28
2.6.7 – Acidez Titulável	28

2.6.8 – Cinzas	29
2.6.9 – Fibra bruta (FB)	30
2.6.9.1 – Fibra em detergente neutro	31
2.6.9.2 – Fibra em detergente ácido	31
2.6.10 – Valor calórico	32
2.6.11 – Calor específico	32
2.6.11.1 – Método das misturas.....	33
2.6.11.2 – Método das placas	34
2.6.11.3 – Calorímetro diferencial de varredura	34
2.7 – Atividade de água	34
2.7.1 – Isotermas de sorção	37
2.7.1.1 – Tipos de isotermas	39
2.7.2 – Modelos matemáticos para ajuste das isotermas	40
2.7.2.1 – Modelo de Halsey	40
2.7.2.2 – Modelo de Henderson.....	41
2.7.2.3 – Modelo de Oswin	41
2.7.2.4 – Modelo de Cavalcanti Mata	42
2.8 – Secagem	42
2.8.1 – Tipos de secagem	44
2.8.2 – Efeitos da temperatura e velocidade do ar de secagem	45
2.9 – Secador de leito fixo	45
2.10 – Cinética de secagem	46
2.10.1 – Secagem em camada fina	47
2.10.2 - Modelos matemáticos para ajuste de secagem em camada fina...	47
2.10.2.1 –Modelo de Henderson	48
2.10.2.2 –Modelo de Page.....	48
2.10.2.3 –Modelo deMidilli	48
2.10.2.4 – Modelo de Cavalcanti Mata	49
2.10.3 – Secagem em camada espessa	50
2.10.4 - Modelos matemáticos para secagem em camada espessa	51
2.10.4.1 – Modelo de Thompson	51
2.10.5 – Simulação de secagem	55
2.11 – Planejamento experimental	56

3- MATERIAL E MÉTODOS	59
3.1 – Localização do experimento	59
3.2 – Tratamento da matéria-prima	59
3.2.1 – Recepção da matéria-prima	60
3.2.2 – Seleção da matéria-prima	60
3.3 – Caracterização química, físico-química e física da matéria-prima	60
3.3.1 – Teor água	60
3.3.2 – Teor de óleo	61
3.3.3 – Proteína bruta	61
3.3.4 – Carboidratos	62
3.3.5 – Ricina	62
3.3.5.1 – Extração da ricina	62
3.3.5.2 – Purificação da ricina	62
3.3.5.3 – Análise qualitativa e quantitativa da ricina	63
3.3.6 – Potencial de Hidrogênio (pH)	63
3.3.7 – Acidez titulável	63
3.3.8 – Cinzas	64
3.3.9 – Fibras	64
3.3.10 – Valor calórico	64
3.3.11 – Calor específico.....	65
3.4 – Determinação da higroscopicidade da torta de mamona <i>in natura</i> nas temperaturas 15, 25, 35 e 45°C e umidades relativas 10, 30, 50, 70 e 90%	66
3.4.1 – Modelos matemáticos para ajuste das isotermas	68
3.4.2 - Calor latente de vaporização.....	68
3.5 – Tratamento da torta de mamona utilizando-se Hidróxido de Cálcio Ca(OH) ₂ , nas concentrações de 1, 2, 3, 4 e 5%.....	69
3.6 – Processo de Secagem da torta de mamona em camada fina.....	71
3.6.1 – Modelos matemáticos para as curvas de secagem em camada fina.....	72
3.6.2 – Curvas de secagem em camada espessa.....	73
3.7 - Simulação do processo de secagem	73
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
4.1 – Caracterização da torta de mamona	74

4.1.1 – Caracterização química, físico-química e física da torta de mamona " <i>in natura</i> "	74
4.1.2 – Calor específico	76
4.1.3 – Caracterização química, físico-química e física da torta de mamona tratada com hidróxido de cálcio	78
4.2 – Isotermas de sorção de água da torta de mamona " <i>in natura</i> "	79
4.3 - Calor latente de vaporização	82
4.4 - Cinética de secagem da torta de mamona tratada com hidróxido de cálcio e secada em camada fina.....	87
4.5 – Simulação de secagem da torta de mamona em camada espessa	96
4.6 – Respostas do planejamento experimental	100
4.6.1 – Teor de água da torta de mamona após desintoxicação e secagem.....	101
4.6.2 – Teor de óleo da torta de mamona após desintoxicação e secagem .	104
4.6.3 – Teor de proteína da torta após desintoxicação e secagem	106
4.6.4 – Teor de carboidratos da torta de mamona após desintoxicação e secagem	107
4.6.5 – Teor de ricina da torta de mamona após desintoxicação e secagem..	110
4.6.6 – Teor de pH da torta de mamona após desintoxicação e secagem...	114
4.6.7 – Teor de cinzas da torta após desintoxicação e secagem	116
4.6.8 – Teor de fibras da torta após desintoxicação e secagem.....	118
4.6.9 – Teor de energia da torta de mamona após desintoxicação e secagem	119
4.6.10 – Teor de calor específico da torta de mamona após desintoxicação e secagem.....	122
5- CONCLUSÃO	124
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126
APÊNDICE A	143
APÊNDICE B	157

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Fruto da mamoneira	7
Figura 2.2	Sementes da mamoneira	8
Figura 2.3	Estrutura da ricina	16
Figura 2.4	Fórmula estrutural da ricinina	17
Figura 2.5	Tipos de isotermas	40
Figura 2.6	Diagrama esquemático do modelo de Thompson	52
Figura 3.1	Fluxograma das etapas do experimento	59
Figura 3.2	Secador de leito fixo	71
Figura 4.1	Curva de calor específico da torta em função do teor de água	77
Figura 4.2	Perfis cromatógrafos da torta de mamona tratada.....	78
Figura 4.3	Superfícies de respostas para os teores de água de equilíbrio da torta de mamona relacionando umidade relativa x temperatura, ajustada aos modelos de Halsey, Henderson, Oswin e Cavalcanti Mata.....	81
Figura 4.4	Umidade de equilíbrio da torta de mamona em função da temperatura e umidade relativa, ajustadas pelo modelo de Henderson-Thompson	82
Figura 4.5	Relação entre $\ln(P_v)$ e $\ln(P_{vs})$ para a torta de mamona com teor médio água de equilíbrio em base seca	85
Figura 4.6	Superfície de resposta de calor latente de vaporização da torta de mamona em função do teor de água de equilíbrio e da temperatura	87
Figura 4.7	Curvas de secagem da torta de mamona tratada a 1, 2, 3, 4 e 5% com hidróxido de cálcio, nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, ajustadas pelo modelo de Henderson	88
Figura 4.8	Curvas de secagem da torta de mamona tratada a 1, 2, 3, 4 e 5% com hidróxido de cálcio e secada nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, ajustadas pelo modelo de Page	89
Figura 4.9	Curvas de secagem da torta de mamona tratada a 1, 2, 3, 4 e 5% com hidróxido de cálcio e secada nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, ajustadas pelo modelo de Midilli	90
Figura 4.10	Curvas de secagem da torta de mamona tratada a 1, 2, 3, 4 e 5% com hidróxido de cálcio e secada nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, ajustadas pelo modelo de Cavalcanti Mata	91

Figura 4.11	Cinética de secagem dados médios experimentais e simulados para a temperatura de 50°C e concentrações de 1, 3 e 5%.....	98
Figura 4.12	Cinéticas de secagem dados médios experimentais e simulados para a temperatura de 70°C e concentrações de 1, 3 e 5%.	99
Figura 4.13	Cinéticas de secagem dados médios experimentais e simulados para a temperatura de 90°C e concentrações de 1, 3 e 5%.	99
Figura 4.14	Diagrama de pareto para o teor de água	102
Figura 4.15	Superfície de resposta do teor de água da torta mamona em função da temperatura e concentração	103
Figura 4.16	Diagrama de pareto para o teor de óleo	104
Figura 4.17	Superfície de resposta e curvas de contorno do teor de óleo da torta tratada em função da temperatura e concentração.....	106
Figura 4.18	Diagrama de pareto para o teor de proteína.....	107
Figura 4.19	Diagrama de pareto para o teor de carboidratos	108
Figura 4.20	Superfície de resposta e curvas de contorno do teor de carboidratos da torta tratada em função da temperatura e concentração	110
Figura 4.21	Diagrama de pareto para o teor de ricina	111
Figura 4.22	Superfície de resposta e curvas de contorno do teor de ricina da torta tratada em função da temperatura e concentração	113
Figura 4.23	Diagrama de pareto para o teor de pH	114
Figura 4.24	Superfície de resposta do teor de pH da torta tratada em função da temperatura e concentração	115
Figura 4.25	Diagrama de pareto para o teor de cinzas	116
Figura 4.26	Superfície de resposta e curvas de contorno do teor de cinzas da torta tratada em função da temperatura e concentração.....	118
Figura 4.27	Diagrama de pareto para o teor de fibras	119
Figura 4.28	Diagrama de pareto para o teor de energia.....	120
Figura 4.29	Superfície de resposta e curvas de contorno do teor de energia da torta tratada em função da temperatura e concentração	122
Figura 4.30	Diagrama de pareto para o teor de calor específico	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Composição bromatológica da torta de mamona	14
Tabela 2.2	Composição de aminoácidos da fração CB-1A da torta de mamona	18
Tabela 2.3	Tratamentos físicos para remoção da ricina	20
Tabela 2.4	Tratamentos químicos para remoção da ricina	20
Tabela 2.5	Composição percentual em aminoácidos na torta de mamona desintoxicada e no farelo de soja	22
Tabela 3.1	Modelos matemáticos utilizados para estimativa do X_e	68
Tabela 3.2	Valores reais e os níveis dos fatores do planejamento fatorial completo (2^2 + “configuração estrela”)	70
Tabela 3.3	Matriz do planejamento dos experimentos de forma codificada e real	70
Tabela 3.4	Modelos matemáticos para ajuste das curvas de secagem	73
Tabela 4.1	Caracterização química e físico-química da torta de mamona “ <i>in natura</i> ”.....	74
Tabela 4.2	Calor específico da torta de mamona em função dos seus teores de água	77
Tabela 4.3	Teores de ricina da torta de mamona “ <i>in natura</i> ” e tratada com hidróxido de cálcio	79
Tabela 4.4	Conteúdo de água de equilíbrio da torta de mamona “ <i>in natura</i> ”	80
Tabela 4.5	Coefficientes dos modelos de Halsey, Henderson, Oswin e Cavalcanti Mata	81
Tabela 4.6	Valores de umidade de equilíbrio higroscópico para torta de mamona, em função da umidade relativa e das temperaturas	82
Tabela 4.7	Umidades relativas de equilíbrio da torta de mamona em função dos conteúdos de umidade e temperaturas preestabelecidas	83
Tabela 4.8	Valores da pressão de vaporização da água da torta de mamona em função do teor de água de equilíbrio e da temperatura.....	84
Tabela 4.9	Valores neperianos da pressão de vaporização da água da torta de mamona em função do teor de água e da temperatura estabelecidos ...	84
Tabela 4.10	Valores dos coeficientes das retas para determinação do calor latente de vaporização.....	85
Tabela 4.11	Calor latente de vaporização da água da torta de mamona em função do teor de água e da temperatura estabelecidos	86

Tabela 4.12	Coeficientes do modelo de Henderson ajustados às curvas de secagem em camada fina da torta de mamona	92
Tabela 4.13	Coeficientes do modelo de Page ajustados às curvas de secagem em camada fina da torta de mamona	93
Tabela 4.14	Coeficientes do modelo de Midili ajustados às curvas de secagem em camada fina da torta de mamona	94
Tabela 4.15	Coeficientes do modelo de Cavalcanti Mata ajustados às curvas de secagem em camada fina da torta de mamona	95
Tabela 4.16	Coeficientes de secagem da torta em camada espessa, ajustados pelo modelo de Page, nas temperaturas de 50, 70 e 90°C e concentrações de 1, 3 e 5%	97
Tabela 4.17	Resultado dos ensaios de acordo com o planejamento experimental	101
Tabela 4.18	Coeficientes de regressão dos fatores calculados para o teor de água da torta de mamona no planejamento experimental	102
Tabela 4.19	ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de água.....	103
Tabela 4.20	Coeficientes de regressão dos fatores calculados para o teor de óleo da torta de mamona no planejamento experimental	105
Tabela 4.21	ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de óleo.....	105
Tabela 4.22	Coeficientes de regressão dos fatores calculados para o teor de proteína bruta da torta de mamona no planejamento experimental	107
Tabela 4.23	Coeficientes de regressão dos fatores calculados para o teor de carboidratos da torta de mamona no planejamento experimental	108
Tabela 4.24	ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de carboidratos.....	109
Tabela 4.25	Coeficientes de regressão dos fatores calculados para o teor de ricina da torta de mamona no planejamento experimental	111
Tabela 4.26	ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de ricina	112
Tabela 4.27	Coeficientes de regressão dos fatores calculados para o teor de pH da torta de mamona no planejamento experimental	114
Tabela 4.28	ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de pH.....	115
Tabela 4.29	Coeficientes de regressão dos fatores calculados para o teor de cinzas da torta de mamona no planejamento experimental	117
Tabela 4.30	ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de cinzas	117
Tabela 4.31	Coeficientes de regressão dos fatores calculados para o teor de fibras da	

	torta de mamona no planejamento experimental	119
Tabela 4.32	Coeficientes de regressão dos fatores calculados para o teor de energia da torta de mamona no planejamento experimental	120
Tabela 4.33	ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de energia	121
Tabela 4.34	Coeficientes de regressão o teor de calor específico	123
Tabela A.1	Secagem da torta de mamona tratada a 1% de Ca(OH)_2 a 50°C	144
Tabela A.2	Secagem da torta de mamona tratada a 2% de Ca(OH)_2 a 50°C.....	144
Tabela A.3	Secagem da torta de mamona tratada a 3% de Ca(OH)_2 a 50°C	145
Tabela A.4	Secagem da torta de mamona tratada a 4% de Ca(OH)_2 a 50°C	145
Tabela A.5	Secagem da torta de mamona tratada a 5% de Ca(OH)_2 a 50°C	146
Tabela A.6	Secagem da torta de mamona tratada a 1% de Ca(OH)_2 a 60°C	146
Tabela A.7	Secagem da torta de mamona tratada a 2% de Ca(OH)_2 a 60°C	147
Tabela A.8	Secagem da torta de mamona tratada a 3% de Ca(OH)_2 a 60°C	147
Tabela A.9	Secagem da torta de mamona tratada a 4% de Ca(OH)_2 a 60°C	148
Tabela A.10	Secagem da torta de mamona tratada a 5% de Ca(OH)_2 a 60°C	148
Tabela A.11	Secagem da torta de mamona tratada a 1% de Ca(OH)_2 a 70°C	149
Tabela A.12	Secagem da torta de mamona tratada a 2% de Ca(OH)_2 a 70°C	149
Tabela A.13	Secagem da torta de mamona tratada a 3% de Ca(OH)_2 a 70°C	150
Tabela A.14	Secagem da torta de mamona tratada a 4% de Ca(OH)_2 a 70°C	150
Tabela A.15	Secagem da torta de mamona tratada a 5% de Ca(OH)_2 a 70°C	151
Tabela A.16	Secagem da torta de mamona tratada a 1% de Ca(OH)_2 a 80°C	151
Tabela A.17	Secagem da torta de mamona tratada a 2% de Ca(OH)_2 a 80°C	152
Tabela A.18	Secagem da torta de mamona tratada a 3% de Ca(OH)_2 a 80°C	152
Tabela A.19	Secagem da torta de mamona tratada a 4% de Ca(OH)_2 a 80°C	153
Tabela A.20	Secagem da torta de mamona tratada a 5% de Ca(OH)_2 a 80°C	153
Tabela A.21	Secagem da torta de mamona tratada a 1% de Ca(OH)_2 a 90°C.....	154
Tabela A.22	Secagem da torta de mamona tratada a 2% de Ca(OH)_2 a 90°C	154
Tabela A.23	Secagem da torta de mamona tratada a 3% de Ca(OH)_2 a 90°C	155
Tabela A.24	Secagem da torta de mamona tratada a 4% de Ca(OH)_2 a 90°C	155
Tabela A.25	Secagem da torta de mamona tratada a 5% de Ca(OH)_2 a 90°C	156
Tabela B.1	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH)_2 a 50°C – amostra 1.....	158
Tabela B.2	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH)_2 a 50°C – amostra 2	158
Tabela B.3	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH)_2 a 50°C – amostra 3	159

Tabela B.4	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH) ₂ a 50°C – amostra 4	159
Tabela B.5	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 50°C – amostra 1	160
Tabela B.6	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 50°C – amostra 2	161
Tabela B.7	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 50°C – amostra 3	161
Tabela B.8	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 50°C – amostra 4	162
Tabela B.9	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 50°C – amostra 1	163
Tabela B.10	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 50°C – amostra 2	163
Tabela B.11	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 50°C – amostra 3	164
Tabela B.12	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 50°C – amostra 4	165
Tabela B.13	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 1	165
Tabela B.14	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 2	166
Tabela B.15	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 3	166
Tabela B.16	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 4	167
Tabela B.17	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 1	167
Tabela B.18	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 2	168
Tabela B.19	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 3	168
Tabela B.20	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 4	169
Tabela B.21	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 1	169
Tabela B.22	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 2	170
Tabela B.23	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 3	170
Tabela B.24	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 70°C – amostra 4	171
Tabela B.25	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 1	171
Tabela B.26	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 2	172
Tabela B.27	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 3	172
Tabela B.28	Secagem da torta de mamona a 1% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 4	173
Tabela B.29	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 1	173
Tabela B.30	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 2	174
Tabela B.31	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 3	174
Tabela B.32	Secagem da torta de mamona a 3% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 4	175
Tabela B.33	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 90°C - amostra 1	175
Tabela B.34	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 2	176
Tabela B.35	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 3	176
Tabela B.36	Secagem da torta de mamona a 5% de Ca(OH) ₂ a 90°C – amostra 4	177

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a_w - atividade de água (adimensional)
b.s. - base seca
b.u. - base úmida
°C - graus celsius
C - concentração
Ca(OH)₂ – hidróxido de cálcio
 c_p – calor específico a pressão constante (cal.kg⁻¹°C⁻¹)
cz – cinzas
E - energia (Kcal.kg⁻¹)
f – fator da solução
fb – fibra bruta
fx – fator de água
hfg – calor latente de vaporização (J/kg°C)
log – logaritmo neperiano
ln_{pv} – logaritmo neperiano da pressão de vapor
K – constante de secagem
KDa - Kilodalta
m – massa Kg
me – massa da amostra em equilíbrio
M_i – valores preditos pelo modelo
M_{pi} – valores obtidos experimentalmente
m₁ – massa seca da amostra
mL - mililitro
P - pressão de vapor (atm)
P - desvio padrão (%)
pH – potencial de hidrogênio
P₀ - pressão de vapor da água pura (Pa)
P_r – proteína
P_v – pressão de vapor (atm)
P_{vs} – pressão de vapor de saturação (atm)
Q – quantidade de calor
R² – coeficiente de determinação
RU - razão de umidade (adimensional)
RX – razão do teor de água
s - segundos
T - temperatura (°C)
T₀ – temperatura inicial do ar de secagem (°C)
t - tempo de secagem (min)
V - volume
X - teor de água médio no tempo t
X_{bs} – teor de água em base seca (%)
X₀ - umidade inicial
X_e - umidade de equilíbrio
UR - umidade relativa
Δt – variação de tempo

RESUMO

A torta de mamona é o principal subproduto da cadeia produtiva da mamona, produzida a partir da extração do óleo das suas sementes. Em todo o mundo, seu uso predominante tem sido como adubo orgânico, apesar do seu elevado teor de proteínas. A torta é produzida na proporção aproximada de 1,2 tonelada para cada tonelada de óleo extraída. A elevada produção de biocombustíveis a partir das sementes de mamona ocasionará um aumento na produção da torta, a qual, apesar do alto valor nutritivo, não pode ser empregada para o consumo animal por possuir proteínas tóxicas (ricina) e alergênicas (albumina 2S). O objetivo deste trabalho foi estudar métodos de desintoxicação e secagem da torta de mamona para que seja possível seu aproveitamento como ração para animais. A caracterização e a composição química, físico-química e física da torta “*in natura*” foram constituídas pelas análises dos teores de água, óleo, proteína bruta, carboidratos, ricina, pH, acidez titulável, cinzas, fibras, valor calórico e calor específico. A umidade de equilíbrio da torta de mamona foi determinada pelo método estático, em soluções de sais e água destilada, para uma faixa de umidade relativa de 10, 30, 50, 70 e 90%, nas temperaturas de 15, 25, 35 e 45°C. As amostras da torta de mamona foram colocadas dentro de recipientes herméticos contendo soluções de sais, em câmara com temperatura controlada, até atingir o equilíbrio. Para o ajuste das isotermas de sorção da torta de mamona foram utilizados os modelos de Halsey, Henderson modificado por Thompson, Oswin e Cavalcanti Mata, e os dados experimentais submetidos a uma análise de regressão não linear, utilizando-se programa computacional Statistica 7.0. Exceto o modelo de Oswin, os demais descreveram suficientemente o comportamento das isotermas de umidade de equilíbrio para as umidades relativas e temperaturas estudadas, com valores dos coeficientes de determinação (R^2) superiores a 99% e desvios percentuais médios (P) inferiores a 10%. Constatou-se que a umidade de equilíbrio higroscópico é diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento de temperatura, para um mesmo valor de atividade de água. O processo de desintoxicação da torta de mamona foi feito à base de hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , em solução aquosa, nas concentrações de 1, 2, 3, 4 e 5%. A secagem da torta de mamona foi feita nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, em um secador de leito fixo, em camadas finas, com ajustes satisfatórios dos modelos matemáticos de Henderson, Page, Midilli e Cavalcanti Mata. A secagem em camada espessa ocorreu nas temperaturas de 50, 70 e 90°C, nas concentrações de 1, 3 e 5% e as

isotermas ajustadas pelo modelo de Thompson, apresentando coeficiente de determinação superior a 99%. Após tratamento e secagem, foi realizada a quantificação da torta de mamona referente aos parâmetros químicos e físico-químicos, constando-se alterações dos teores de pH e acidez, causadas pelo aumento da concentração; quanto ao teor de ricina, verificou-se que quanto maior a concentração de hidróxido de cálcio presente no tratamento e a temperatura de secagem, maior foi sua remoção, atingindo 0% de ricina na concentração de 5% e temperatura de secagem de 90°C, podendo, portanto, ser utilizada na alimentação de animais.

Palavra-chave: *Ricinus communis* L., equilíbrio higroscópico, secagem e simulação

ABSTRACT

The castor bean is the main by-product of castor oil production chain, produced from the extraction of oil from its seeds. Around the world, its use has been rife as organic fertilizer, despite its high protein content. The bean is produced in the ratio of approximately 1.2 tons for every ton of oil extracted. The high production of bio-fuel from the seeds of castor lead to an increase in the production of the bean, which, despite its high nutritional value, cannot be used for animal consumption, for possessing toxic protein (ricin) to allergen (2S albumin). The aim of this work was to study methods of detoxification and drying of castor bean to be able to take advantage of it as animal feed. The characterization and chemical, physical-chemical and physical composition of the bean "in nature" were established by analysis of the levels of water, oil, protein, carbs, ricin, pH, nameable acidity, ash, fiber, calories and specific heat. The humidity equilibrium contained in castor bean was determined by the static method, in salt solutions and distilled water to a relative humidity range of 10, 30, 50, 70 and 90% at temperatures of 15, 25, 35 and 45° C. Samples from the castor bean were placed in sealed containers containing salt solutions in a chamber with controlled temperature, until they achieve equilibrium. For adjustment of the sorption isotherms of the castor bean Halsey, Henderson, modified by Thompson, Oswin and Cavalcanti Mata models were used, and experimental data subjected to nonlinear regression analysis using a computer program Statistica7.0. With the exception of the Oswin model, the others sufficiently described the behavior of the humidity equilibrium isotherms for the relative humidity and studied temperatures, with the values of the coefficients of determination (R^2) superior to 99% and average percent deviations (P) inferior to 10%. We found that the humidity of hygroscopic equilibrium is directly proportional to the water activity and decreases with the increase of temperature, to the same value for water activity. The detoxification process of the castor bean was made by basic hydrated calcium hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in aqueous solution at concentrations of 1, 2, 3, 4 and 5%. The drying of castor beans was made at temperatures of 50, 60, 70, 80 and 90° C, in a fixed bed dryer, in thin layers, with satisfactory adjustments of the mathematical models of com Henderson, Page, Midilli and Cavalcanti Mata. The thick layered drying

occurred in temperatures of 50, 70 and 90°C, in the concentrations of 1, 3 and 5% and the isotherms adjusted by the Thompson model, showing a coefficient of determination superior to 99%. After treatment and drying, the quantification of the castor bean was done, referring to the chemical and physical-chemical parameters, finding alterations in the pH content and acidity, caused by the increase in concentration; as to the ricin content, it was verified that the higher the concentration of calcium hydroxide present in the treatment and the drying temperature, the more it was removed, reaching 0% of ricin in the concentration of 5% and the drying temperature of 90°C, making it edible for animals.

Keyword: *Ricinus communis* L., equilibrium of moisture content, drying and simulation.

1- INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa originária da Etiópia, no leste da África. Os primeiros registros de cultivo da mamona foram encontrados no Egito, há uns 4000 a.c. Relatos da história, evidenciam que na Índia o óleo de mamona já era usado em atividades medicinais por volta de 2000 a.c. (RODRIGUES et al., 2002). No Brasil, a mamona foi introduzida pelos portugueses com a finalidade de utilizar o óleo para iluminação e lubrificação de máquinas. O clima tropical predominante facilitou sua proliferação, a tal ponto que hoje se pode encontrar a mamona em quase todo o território nacional (CHIERICE & CLARO NETO, 2007).

Esta planta apresenta grande potencial para ser cultivada em amplas áreas do território brasileiro, em razão de apresentar expressiva resistência à seca, exigência em calor e luminosidade, além de se adaptar perfeitamente ao clima semiárido (CARTAXO et al., 2004). Além disto, a multiplicidade de aplicações industriais de seu óleo e do valor agregado da torta como fertilizante orgânico e suplemento proteico para alimentação animal, quando desintoxicados, situa a mamona entre as oleaginosas tropicais mais importantes (FORNAZIERI JÚNIOR, 1986).

Segundo SEVERINO (2005) a torta é o principal subproduto da cadeia produtiva da mamona, produzida a partir da extração do óleo das sementes pelo processo mecânico de prensagem, na proporção aproximada de 1,2 tonelada para cada tonelada de óleo extraída, ou seja, corresponde a 55% de massa das sementes, valor que pode oscilar de acordo com o teor de óleo da semente e do processo industrial de sua extração.

De acordo com BELTRÃO (2002) poder-se-á cultivar cerca de até 6,0 milhões de hectares por ano com mamona no Nordeste, com produção total de resíduos de aproximadamente 3,0 milhões de toneladas. Com esta quantidade provável de torta de mamona torna-se necessário oferecer, a este resíduo, um destino ambientalmente correto uma vez que o uso deste material como adubo orgânico ou concentrado para ração animal se vem destacando, segundo diversos pesquisadores; nos dois casos, é imprescindível o processo de desintoxicação. BELTRÃO et al. (2003) afirma que a torta da mamona tem elevado valor nutritivo, sendo rica em proteínas (41,51%), fibras (32,84%), materiais minerais (7,65%) e gorduras (2,62%), porém, para ser usada como

alimento, ela precisa passar por um processo de desintoxicação dos constituintes tóxicos, como ricina, ricinina e fração alergênica.

Existem diversos métodos para promover a desintoxicação e a dealergenização da torta da mamona, podendo ser por processo de aquecimento ou por tratamento químico, tendo a possibilidade da eliminação da ricina. Durante a década de 60 a Sociedade Algodoeira do Nordeste Brasileiro S.A. – SANBRA, comercializou uma torta desintoxicada designada *Lex Proteico*. O processo de produção, no entanto, foi suspenso pela dificuldade no controle da eficiência do processo de desintoxicação, que ocasionava a liberação de lotes do produto ainda tóxicos, o que poderia causar a morte de animais (SEVERINO, 2005).

Estudos realizados mostraram que o processo de extrusão sob alta temperatura na presença de óxido de cálcio (cal) é capaz de promover a destruição do complexo alergênico da mamona. O maior índice de desintoxicação, aproximadamente 80%, foi obtido por ANANDAN et al. (2005), ao afirmar que o tratamento de 1000 g de torta em autoclave a 1,05 atm, por 60 minutos, ou com 40 g de Ca(OH)_2 por 8 horas remove parcialmente a ricina. Conforme os autores, a ricina, por ser uma proteína tóxica, é o principal empecilho para uso alimentar da torta da mamona para animais, sendo imprescindíveis os processos de desintoxicação e, como a maioria dos processos ocorre em solução aquosa, é conveniente a secagem do material.

A operação de secagem ou de desidratação é importante na indústria química, no processamento de alimentos e na estocagem de produtos agrícolas. A finalidade da secagem é a remoção parcial de um líquido (geralmente água) da matéria sólida. A particularidade da secagem em relação a outras técnicas de separação é que a retirada das moléculas é obtida por uma movimentação da água, graças a uma diferença de pressão parcial do vapor de água entre a superfície do produto a ser secado e o ar que o envolve. A secagem da torta de mamona é pouco estudada e, em virtude da sua composição química, o processo de secagem deve ser bem conduzido, tanto no que se refere ao tempo e temperatura de secagem como no que diz respeito ao nível do teor de água final do produto, para que o mesmo possa ser armazenado.

1.1- JUSTIFICATIVA

O biodiesel é um combustível renovável, menos poluente que o diesel, possível de ser utilizado em motores de ciclo diesel, sem quaisquer alterações. As principais fontes de triglicerídeos utilizadas como insumo neste processo são óleos vegetais extraídos de sementes (grãos) chamadas oleaginosas, como a mamona, colza, soja, girassol e gergelim etc. O uso de biocombustíveis, como lenha, carvão vegetal, bioetanol, óleo de dendê e biodiesel de óleos vegetais são vistos, hoje, como alternativas viáveis, com justificativas econômicas, sociais e ambientais (URQUIAGA et al., 2005).

Segundo levantamento feito pela Embrapa, o Brasil dispõe de mais de 4 milhões de hectares de terras com aptidão para a exploração econômica de mamona em condições de sequeiro no Nordeste (PERES et al., 2005). O cultivo da mamona se adapta muito bem à agricultura familiar e ao clima semiárido sendo, considerado, desta forma, pelo Governo Federal, um importante agente de inclusão social e definida, junto com o dendê, como a principal oleaginosa utilizada para a produção do biodiesel.

O aumento da demanda de biodiesel na matriz energética nacional, que em janeiro de 2010 era de 5% de mistura de biodiesel ao diesel de petróleo, tem provocado uma grande expectativa da reutilização dos produtos remanescentes da produção do óleo de mamona (torta) tendo em vista que grandes áreas deverão ser plantadas, o que terá significativo impacto social com a geração de empregos e movimentação da economia de pequenos municípios.

Especificamente no caso da mamona e apesar de o óleo se constituir o principal produto de exploração, o aproveitamento e a agregação de valor aos coprodutos, são fundamentais para a viabilidade financeira dos produtores e das indústrias de biodiesel, podendo ainda gerar melhor remuneração aos demais integrantes da cadeia produtiva. Entre os coprodutos, a torta de mamona precisa de maior atenção pois, além de ser aproveitada como adubo orgânico tem potencial para se tornar alimento alternativo para animais, desde que seja desintoxicada e dealergenizada (RANGEL et al., 2004). O uso de torta de mamona para ração animal não é recomendado em virtude da presença de substâncias tóxicas e alergênicas. A principal substância tóxica é a ricina, uma proteína de reserva, tóxica por inativar ribossomos, encontrada exclusivamente no endosperma

das sementes de mamona representando cerca de 1,5 a 2,0% da massa total da semente (ANADAN et al., 2005).

Com a possibilidade de aumento da produção de mamona, faz-se necessário agregar mais valor a este resíduo; entretanto, as maiores dificuldades são a viabilidade operacional e a econômica do tratamento deste subproduto, além da falta de métodos analíticos rápidos e de baixo custo (SEVERINO, 2005).

Atualmente, um dos grandes desafios é dispor de um processo viável que gere uma torta com baixa toxicidade e segura para o preparo de rações para ruminantes, no entanto, para obtenção de um processo de desintoxicação da torta de mamona de interesse industrial, torna-se oportuno o desenvolvimento de métodos eficientes e rápidos para identificação e classificação, sendo possível o controle de qualidade com maior segurança e confiabilidade.

Na criação intensiva de animais, os gastos com alimentação representam um dos principais componentes do custo de produção, podendo oscilar entre 30 e 70% dos custos, à mercê da atividade e do tipo de exploração. A busca de alimentos alternativos e de baixo valor comercial, como os resíduos e subprodutos agrícolas, representa uma forma de minimizar os gastos com alimentação. Considerando que o país importa insumos para compor rações animais, tais como milho, a produção nacional desses insumos contribuirá para o equilíbrio da balança de importações. Um dos potenciais insumos para ração animal é a torta de mamona desintoxicada. Neste cenário, o processo de desintoxicação requer estratégias analíticas aplicáveis a grande número de amostras, com baixo custo. As características da agricultura e da agropecuária na região demonstram a necessidade de se desenvolver e adaptar tecnologias que propiciem aumento dos índices de produtividade dos rebanhos, através da aplicação de processos de bioconversão.

1.2 – OBJETIVOS

- Objetivo geral

Objetiva-se, com este trabalho, estudar métodos de desintoxicação e condições de secagem da torta de mamona destinada à ração animal.

- Objetivos específicos

- Caracterização química, físico-química e física da torta de mamona “*in natura*”, determinando-se o seu teor de água, óleo, proteína bruta, carboidratos, ricina, pH, acidez titulável, cinzas, fibras, valor calórico e calor específico;

- Quantificar o teor de ricina na torta de mamona após tratamento com Hidróxido de Cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, em solução aquosa, nas concentrações de 1, 2, 3, 4 e 5%;

- Determinar a higroscopicidade da torta de mamona “*in natura*” nas temperaturas de 15, 25, 35 e 45°C e com umidade relativa de 10, 30, 50 70 e 90%; ajustar os modelos matemáticos de Halsey, Henderson modificado por Thompson, Oswin e Cavalcanti Mata e verificar aquele que melhor represente os dados experimentais;

- Estudar a secagem da torta de mamona em camada fina após o tratamento químico com hidróxido de cálcio, nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C e ajustar os modelos matemáticos de Henderson, Page, Midilli e Cavalcanti Mata, verificando o que melhor se ajuste aos dados experimentais e estudar também a secagem em camada espessa, nas temperaturas de 50, 70 e 90°C, com o ajuste dos dados experimentais pelo modelo de Thompson;

- Realizar a simulação do processo de secagem em camada espessa utilizando o software SASSG_{ANUM};

- Quantificar o teor de ricina e os parâmetros químicos e físico-químicos da torta de mamona após tratamento com hidróxido de cálcio em diferentes concentrações e após secagem em diferentes temperaturas.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - A mamoneira (*Ricinus communis* L)

2.1.1 – Características botânicas

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) também conhecida como carrapateira, palma-cristi e enxerida, é um arbusto bastante complexo, no que tange à morfologia, biologia floral e fisiologia, apresentando metabolismo fotossintético ineficiente (C₃), porte muito variado de 0,8 a mais de 7,0 m de altura, ramificação caulinar simpodial, raiz fistulosa e vários tipos de expressão da sexualidade. É uma planta de crescimento indeterminado tendo sua haste principal crescendo verticalmente e desprovida de ramificações laterais, até o surgimento da primeira inflorescência. Apresenta sistema radicular pivotante e raízes fistulosas, bastante ramificadas. Os tipos gigantes indicam raízes semelhantes às das árvores e podem atingir alguns metros de profundidade, dependendo do solo (AZEVEDO & BELTRÃO, 2007).

O caule possui grande variação na cor, presença de cera, rugosidade e nós bem definidos, com cicatrizes foliares proeminentes. É giniculado, espesso e ramificado, terminando com a inflorescência tipo racemo; a haste principal cresce de forma vertical, sem ramificação, até o surgimento da primeira inflorescência, denominada cacho principal; os ramos laterais se desenvolvem da axila da última folha, logo abaixo da inflorescência, enquanto a haste principal e as ramificações podem ser cobertas por uma capa de cera, sendo mais abundante em plantas jovens. Há, ainda, cultivares com caule de coloração violeta, cinza e marrom (AZEVEDO & BELTRÃO, 2007).

As folhas são simples, grandes, com largura do limbo variando de 10 a 40 cm, podendo chegar a 60 cm de comprimento; do tipo digitolobadas, denticuladas e pecíolos longos, com 20 a 30 cm de comprimento, apresentam filotaxia alternada do tipo 2/5 (duas folhas em cada cinco voltas de 360° no eixo do caule); em geral, são sete lóbulos em cada folha, a qual pode apresentar cor verde ou avermelhada (AZEVEDO & BELTRÃO, 2007). A mamoneira possui baixa exigência de clima e solo para o cultivo porém, quanto mais propícia a área de cultivo melhores serão os resultados visando, assim, à maior chance de êxito econômico da cultura (AMORIM NETO et al., 2001).

2.1.2 - O fruto

O fruto da mamona é uma cápsula que pode ser lisa ou com estruturas semelhantes a espinhos (Figura 2.1) e deiscente ou indeiscente. De acordo com SAVY FILHO (2005) os frutos podem ser pouco ou muito papilados; o cacho, que é a infrutescência, tem conformação cônica, cilíndrica ou mais ou menos esférica, comprimento variando de 10 cm até 80 cm, dependendo do ambiente e, principalmente, da cultivar; pode, ainda, apresentar cor verde ou vermelhada, com coloração intermediária; no amadurecimento ele se abre ou não e pode liberar as sementes, dependendo do nível de deiscência.



Figura 2.1 - Fruto da mamoneira
Foto: Marcondes Barreto de Sousa

Segundo SAVY FILHO (2005) a variabilidade dos frutos se manifesta na cor, na cerosidade, na forma, no tamanho, na deiscência, na caducidade e na presença e ausência de papilas – acúleos, vulgarmente chamados espinhos, e diferentes teores de óleo.

2.1.3 - A semente

De acordo com AZEVEDO & BELTRÃO (2007) a semente da mamoneira é lisa e ovoide, com face dorsal geralmente convexa e a face central achatada. Possui grande

variabilidade para cor, forma, tamanho e peso; a massa de 100 sementes pode variar de 10 a 100g, com média de 30g nas cultivares anãs e de 45 a 75g nas cultivares de porte médio, como é o caso da BRS 149 Nordestina e da BRS 188 Paraguaçu. O comprimento das sementes de mamona varia de 0,8 a 3 cm, de 0,6 a 1,5 cm de largura e de 0,4 a 1 cm de espessura.

A constituição da semente de mamona (Figura 2.2) é da seguinte forma: tegumento externo e interno; carúncula e endosperma e embrião. O tegumento externo da semente é representado pela casca, dura, espessa, quebradiça e diversamente colorido. O endosperma é abundante e oleoso; os cotilédones são grandes, largos e chatos (SAVY FILHO, 2005).



Figura 2.2 - Sementes da mamoneira
Foto: Marcondes Barreto de Sousa

2.1.4 - Importância socioeconômica

A mamoneira (*Ricinus communis*L.) é uma oleaginosa de relevante importância econômica e social, de cujas sementes se extrai um óleo de excelentes propriedades, de largo uso como insumo industrial (SANTOS et al., 2007), sendo mais importante, em termos quantitativos, na fabricação de tintas, vernizes, cosméticos e sabões.

O agronegócio da mamona é uma atividade essencial para o Brasil, não apenas por fornecer matéria-prima para a indústria mas também por criar oportunidades de emprego nas zonas rural e urbana e, em particular, por garantir a fixação do homem do campo (LOPES et al., 2007), apresentando baixo custo de produção, resistência à seca e

facilidade de manejo. Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de mamona, perdendo apenas para a Índia e a China, mas com potencial para aumentar rapidamente sua participação nesse mercado, considerando-se suas condições altamente favoráveis, como a oferta de áreas aptas para seu cultivo, a moderna tecnologia de cultivo e um atualizado parque industrial de extração de óleo (SANTOS et al., 2007).

Entre as espécies cultivadas economicamente no Brasil, a mamoneira é uma das menos exigentes, em termos de clima, solo e manejo cultural. Ela tem a capacidade de gerar um produto cujo leque de possibilidades de aplicações industriais é bastante amplo; trata-se de óleo de mamona, cujo principal componente, o ácido ricinoleico, abriga as moléculas com propriedades bastante flexíveis e estrutura de certa forma incomum, entre os ácidos graxos existentes nos óleos vegetais. Segundo VIEIRA et al. (1998) essas características conferem, ao óleo de mamona, condições especiais, permitindo sua utilização em mais de 400 processos industriais, como na produção de anticongelantes de combustível de avião e espaçonaves, dentre outras utilidades.

A mamoneira é um arbusto de cujo fruto se extrai um óleo de excelentes propriedades, de largo uso como insumo industrial; é conhecido desde a antiguidade devido às propriedades medicinais e como azeite para iluminação. Da sua industrialização se obtém, como produto principal, o óleo e, como subproduto, a torta, a qual possui altos teores de matéria orgânica, nitrogênio e proteínas, entre outros, sendo necessário que a mesma passe por um processo para tirar a toxidade mas, por se tratar de um processo de desintoxicação bastante complexo e, muitas vezes, caro, as usinas de óleo preferem vender a torta apenas como fertilizante (CHIERICE & CLARO NETO, 2007).

O óleo da mamona tem uma estrutura química singular, predominando o ácido ricinoleico em 90% de sua composição; as características deste ácido são conferidas pela sua estrutura química com grupo hidroxila no carbono 12 e dupla ligação no carbono 8, sendo a única fonte comercial com esta singularidade (SAVY FILHO, 2007). A extração do óleo da semente ou da baga, é realizada por meio de máquinas apropriadas, em que o método utilizado pode ser por prensagem, a frio ou a quente ou, ainda, extração por solvente.

No período de 1980 a 1999, a Índia e a China foram os principais produtores mundiais de mamona em baga, tanto em área cultivada quanto em produtividade. A participação desses países na área total mundial era em média, no período 1980/85, de 50%, mantendo-se em crescimento até 1998, quando atingiu 82%, declinando ligeiramente para 80% em 1999. O Brasil, que detinha a segunda maior área cultivada de mamona em bagas do mundo, em média, nos períodos 1980/1985 e 1986/1991, teve sua participação na área mundial reduzida em 26%, em 1980/1985, para 8% em 1999 mantendo, no entanto, a terceira posição entre os principais países produtores nos últimos 10 anos (SANTOS et al., 2007).

De início, a mamoneira se desenvolveu, no Brasil, internamente, de forma comercial, nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste; nas regiões Sudeste e Sul, para garantir a competitividade com outros produtos concorrentes, foi necessário o emprego de técnicas que facilitassem a mecanização e o desenvolvimento de variedades mais rentáveis (SANTOS et al., 2007).

No Brasil, a queda da área cultivada com mamona foi bastante significativa em todos os estados produtores, na safra 2011/2012, ficando em 148,1 mil hectares, com redução de 32,5% em relação à safra anterior. A produção nacional de mamona para esta safra foi de 105 mil toneladas, 25,6% menor em relação à colheita anterior. O cultivo se concentra na Bahia, onde a redução da área chegou a 49,2%, cultivando-se apenas 71,5 mil hectares ante os 140,8 mil hectares da safra anterior. Dentre os motivos da queda está, em primeiro lugar, a falta de umidade no solo na época da semeadura e também durante o desenvolvimento das plantas das lavouras de mamona CONAB (2012).

O comprador final da mamona é a indústria de óleo, que recebe a maior parte do produto via intermediários e cuja distorção ocorre em virtude da falta de concentração da produção e do grande número de pequenos produtores, sem meios de levar seu produto diretamente à indústria (SAVY FILHO, 2007). Na Bahia, a comercialização da mamona passou a ter nova fase, com a indústria comprando diretamente ao produtor, em especial de associações de pequenos produtores rurais, a título de incentivo, de 2% sob o valor da saca para as associações; mesmo assim, o intermediário continua presente, comprando não só para as indústrias instaladas no Estado da Bahia, como a

Bom Brasil, mas também para outras instaladas em São Paulo, a exemplo de Bi-óleo, Olema e Ceralite.

A busca mundial pela sustentabilidade ambiental com base na substituição progressiva dos combustíveis minerais derivados do petróleo, os quais são responsáveis diretos pelo efeito estufa, por combustíveis renováveis de origem vegetal, dentre eles o biodiesel do óleo da mamona, criou uma perspectiva real para a expansão do seu cultivo, em escala comercial no semiárido brasileiro, sobretudo na agricultura familiar, que já tem tradição no cultivo desta oleaginosa, em especial o Estado da Bahia, onde pequenos e médios agricultores produzem mamona há mais de um século (BELTRÃO et al., 2005).

Em razão da procura por culturas alternativas para a produção de óleo destinado ao biodiesel, a mamona está sendo considerada uma boa opção para agricultores de diversas regiões do País em razão principalmente do alto rendimento energético, relativa rusticidade e tolerância à seca, sendo adaptável a condições climáticas muito variáveis (BELTRÃO & OLIVEIRA, 2009).

2.2 - Produtos da mamona

2.2.1 - Óleo

O óleo de mamona é o principal produto da mamoneira, extraído de suas sementes, cujo conteúdo se situa, em geral, entre 40 e 60%, em variedades comerciais; é composto quase totalmente de triglicerídeos, em particular de ricinoleico (cerca de 90%), cuja fórmula na amêndoa varia de 55 a 70%.

A mamona foi trazida para o Brasil pelos portugueses, com a finalidade de utilizarem seu óleo para iluminação e lubrificação de eixos de carroças. O clima tropical aqui predominante, facilitou seu alastramento, a tal ponto que hoje se pode encontrar a mamona em quase todo o território nacional, como se fosse planta nativa e em culturas destinadas à produção de óleo (CHIERICE & CLARO NETO, 2007).

No mercado internacional o óleo de mamona é o óleo vegetal de maior valor comercial de 1992 a 1997. Seu elevado valor estratégico é reconhecido pelo fato de não

haver bons substitutos em muitas de suas aplicações e, devido também à sua versatilidade industrial, ele se diferencia dos demais óleos vegetais, em virtude da presença de ligações OH (grupo hidroxila) presentes no ácido ricinoleico, na proporção média de 90% de sua composição (MUTLU & MEIER, 2010). Esses autores destacam, ainda, que as propriedades físico-químicas do ácido ricinoléico estão associadas à carbonila (COOH) e à insaturação do carbono 9 (C=C), os quais são grupos funcionais importantes que permitem qualidades específicas à produção de vários produtos industriais. A hidroxila também confere estabilidade e alta viscosidade, possibilitando, a este óleo, ser considerado um dos óleos mais viscosos, quando comparado a outros óleos vegetais, pela formação de ligações de pontes de hidrogênio (BELTRÃO, 2004).

Também conhecido no Brasil como óleo de rícino, possui enorme versatilidade química dentro do ramo industrial, podendo ser utilizado em rotas de síntese para uma grande quantidade de produtos, com aplicação na área de cosméticos, lubrificantes e polímeros, além de poder ser um substituto do petróleo na síntese de vários produtos. Na atualidade, a aplicação mais importante que vem sendo atribuída ao óleo de mamona é na produção industrial de biodiesel, visto que, com o advento do Programa Nacional de Biodiesel, a Petrobrás deverá adicionar 2% de biodiesel ao diesel de petróleo até o ano 2008 e 5% até 2013, podendo haver redução nesses prazos (HOLANDA, 2004).

O óleo bruto é de coloração palha-claro que, ao ser refinado, fica quase incolor, com odor característico e considerado insalubre por muitas pessoas mas pode ser facilmente desodorizado. O óleo de mamona não causa toxidez nem alergia, pois as substâncias causadoras desses transtornos são insolúveis no óleo, estando presentes exclusivamente no resíduo de extração (torta ou farelo). Tendo efeito laxativo, pode causar efeitos desagradáveis se for ingerido por animais ou humanos (SEVERINO et al., 2006); além disto, é solúvel em solventes, como etanol, metanol, éter, clorofórmio e no ácido acético glacial (FREIRE et al., 2006).

O teor de óleo das sementes de mamona varia de 35 a 55%, dependendo de vários fatores, como cultivares utilizadas, condições ambientais e formas de obtenção, mas a maior parte das cultivares plantadas comercialmente no Brasil possuem teor de óleo variando entre 45% e 50%. Quando é obtido das sementes com casca, varia de 36 a 58% na semente inteira e, sem casca, de 50 a 72%, na amêndoa (FREIRE et al., 2006).

Para a região Nordeste existem as cultivares Sipeal 28, Baianita e Pernambucana, todas com cerca de 47% de óleo. As cultivares lançadas pela Embrapa Algodão, para as condições semiáridas do Nordeste, são as BRS Nordestina e BRS Paraguaçu, ambas com conteúdo de óleo entre 48 e 49%, respectivamente, e consideradas as melhores cultivares em distribuição.

2.2.2 - Torta de mamona

A torta de mamona é o resíduo de extração do óleo que pode ter diversos usos, desde fonte de alimento proteico para animais monogástricos e ruminantes, além de servir de fonte de aminoácidos para os mais variados fins nutricionais. Rica em fibra, mais de 35%, e cerca de 5% de nitrogênio, é um excelente fertilizante e condicionante do solo e caso seja tornada atóxica, tornar-se-á uma excelente fonte proteica para rações animais (BELTRÃO et al., 2003).

Apesar de rica em proteínas, o aproveitamento da torta e do farelo de mamona como suplemento alimentar, é limitado, em virtude da presença de componentes tóxicos, como a ricina, a ricinina e o complexo alergênico CB-1A (SEVERINO, 2005). Das três toxinas presentes na mamona a ricina é a mais potente e qualquer tentativa de desintoxicação da torta deveria abordar principalmente este problema (ANANDAN et al., 2005). Com a possibilidade de aumento da produção de mamona, faz-se necessário agregar mais valor a este resíduo; entretanto, as maiores dificuldades são a viabilidade operacional e a econômica do tratamento, além da falta de métodos analíticos rápidos e de baixo custo (SEVERINO, 2005).

Atualmente e com o desenvolvimento de técnicas eficientes para eliminar a toxidez, a torta de mamona passou a ter outros usos, embora os mais representativos sejam a adubação e a alimentação de animais; como adubo, ela vem sendo utilizada há muito tempo, pois a torta de mamona é uma grande fonte de nitrogênio, fósforo e potássio; além disto, possui a capacidade de recuperar áreas degradadas e também serve para o controle de nematoides do solo. Segundo MELO et al. (2006) de todos os adubos vegetais a torta e o farelo são resíduos de oleoginosas mais eficientes da classe e, dentre eles, os obtidos da mamona eram os de mais alto poder na restauração dos solos. Na Europa e nos Estados Unidos, também na década de 30, sua utilização já era bastante

significativa. Ressalta-se que, nesta época e nesses países, os adubos minerais já eram largamente fabricados.

Os valores nutricionais da torta da mamona, conforme a Tabela 2.1, reforçam ainda mais o seu potencial para ser usado como ração animal, desde que seja feito o tratamento de desintoxicação que garanta padrões de qualidade confiáveis.

Tabela 2.1 - Composição química-bromatológica da torta de mamona

Fração	Teor
Matéria seca	97,26%
Proteína bruta	41,07 %
Fibra	37,49 %
Cálcio	0,35 %
Fósforo	0,43 %
Extrato etéreo	1,34 %
Cinzas	4,30%

Fonte: SEVERINO et al., 2006

SEVERINO (2005) afirma que os maiores entraves para agregação de valor da torta da mamona são a inexistência de processos industriais de custo aceitável, a viabilidade operacional e a comprovação de eficácia na desintoxicação e desalergênização, além de tecnologia para acompanhamento da segurança do produto.

2.3 - Toxicidade da torta de mamona

A torta de mamona tem grande utilidade na agricultura familiar, podendo servir de fonte de renda ao monocultor e na sua comercialização. Em função da presença de substâncias altamente tóxicas em sua composição química, a princípio a torta de mamona era empregada apenas como fertilizante; sua toxidez se deve a três fontes: a uma proteína extremamente tóxica, denominada ricina, que existe em quantidade variando de (1,5 a 9,7%), e um alcaloide ligeiramente tóxico, conhecido como ricinina (0,23 a 4,6%) e uma fração alergênica, que é o complexo glicoproteína CB-1A (0,09 a 4,20%) dependendo da variedade (FORNAZIERI JÚNIOR, 1986).

2.3.1 – Ricina

A ricina é uma proteína encontrada exclusivamente no endosperma das sementes de mamona, não sendo detectada em nenhuma outra parte da planta. A concentração dessa proteína na semente pode variar entre diferentes genótipos. Ela é a principal responsável pela toxidez da torta de mamona e, segundo MOSHKIN (1986), está entre as proteínas de maior toxidez conhecida pelo homem. A ricina se classifica como uma lectina composta por duas subunidades, uma delas com atividade enzimática e a outra com um sítio de ligação específica ao açúcar galactose, exercendo seu mecanismo de toxidez através da inativação dos ribossomos (OLSNES, 2004).

Segundo JACKSON et al. (2006) a unidade A da ricina pertence a uma classe de enzimas conhecida como proteínas inativadoras do ribossomo. Normalmente, essas proteínas não apresentam toxidez, pela incapacidade de penetrar na célula e atingir os ribossomos; estão presentes em produtos largamente ingeridos na alimentação humana, como germen de trigo e cevada. No caso da ricina, esta subunidade A se encontra ligada à subunidade B que, por sua vez, se liga à parede celular e permite a entrada da subunidade A por endocitose para o citossol e promove a morte da célula por inibição da síntese proteica.

A molécula da ricina se compõe de duas subunidades: da cadeia A, citotóxica e da cadeia B, receptor-ligação (lectina), unidas por uma única ligação covalente de dissulfeto (JACKSON et al., 2006; OSTIN et al., 2007). O efeito tóxico se deve à habilidade de inativar os ribossomos eucarióticos, específica e irreversivelmente, promovendo morte das células pela inibição da síntese de proteína. Juntas, as duas cadeias constituem uma das citotoxinas mais potentes da natureza, considerando-se que nenhum efeito tóxico é conhecido para as cadeias isoladas.

Os sintomas imediatos da intoxicação por ricina são dores abdominais e vômitos. Em alguns dias ocorre desidratação severa, com decréscimo da produção de urina e diminuição da pressão sanguínea. A vítima usualmente se recupera quando não ocorre morte entre três e cinco dias (DOAN, 2005). Segundo LORD et al., (1994) citados por PATOCKA (2010) na estrutura da ricina (Figura 2.3) se destacam as cadeias A e B; a metade direita é a cadeia A e a metade esquerda, a cadeia B; as pontes dissulfeto constituem o local onde ocorre a ligação da galactose.

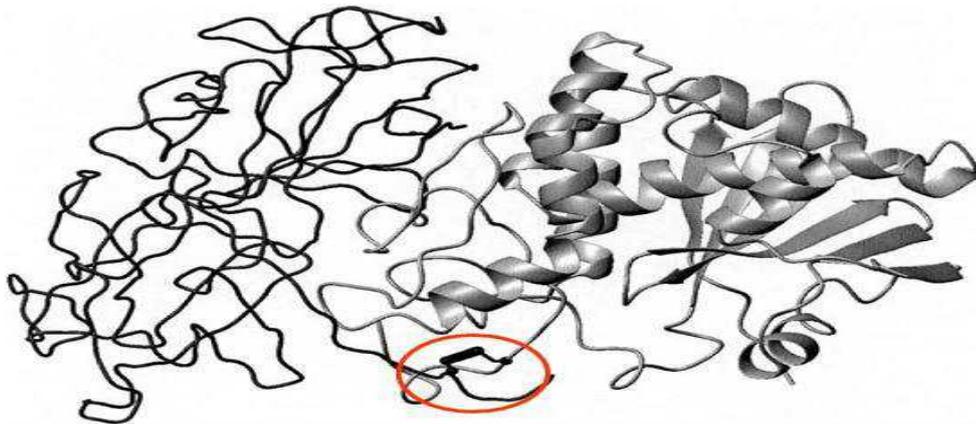


Figura 2.3 - Estrutura da ricina

A cadeia B está à esquerda e a cadeia A, à direita. O círculo vermelho indica a ponte dissulfeto. A cadeia B da ricina (RTB) seliga a componentes contendo resíduos terminais de galactose da superfície celular e, subsequentemente, a molécula ricina entra na célula eucariótica por endocitose.

A cadeia A (RTA) quebra a ligação N-glicosídica de um resíduo de adenina específico localizado no RNA ribossomal 28S, contido na unidade 60S do ribossomo. Esta ação impossibilita a síntese de proteínas da célula culminando em morte celular (LORD et al., 1994).

LAMPE (1991) cita que apenas a cadeia A da ricina entra no citosol enquanto a cadeia B permanece ligada à superfície celular. As células da parede gastrintestinal são as mais atingidas, sendo que uma única molécula da toxina é suficiente para causar a morte dessas células. A obtenção de cultivares de mamona isenta ou com baixo teor de ricina, tem sido buscada através de melhoramento genético na Texas Tech University (PINKERTON et al., 1999); entretanto, ainda não se dispõe de um genótipo de mamoneira totalmente livre de ricina de forma que, mesmo em baixo teor, a ricina continua presente e a desintoxicação de sua torta ainda é necessária.

2.3.2 – Ricinina

Um dos componentes tóxicos da torta de mamona é a ricinina, um alcaloide tóxico encontrado em todas as partes da planta, desde as fases iniciais de desenvolvimento, que possui fórmula molecular $C_8H_8N_2O_2$, com nome químico 3-ciano-4-metoxi-N-metil-2-piridona (LEITE et al., 2005). Ela é considerada uma substância de defesa da planta,

sintetizada em maior quantidade em situações como danos mecânicos ou alta temperatura (AZEVEDO & BELTRÃO, 2007).

CARVALHO (2005) afirma que a ricinina foi isolada, a primeira vez, por TUSON, no ano de 1864, e em 1949 teve sua estrutura determinada por HENRY, conforme se mostra na Figura 2.4; a contribuição da ricinina à toxicidade da torta é muito pequena, por apresentar baixa atividade tóxica e estar presente em baixa concentração.

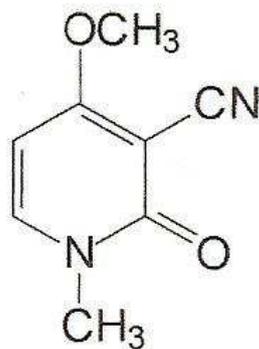


Figura 2.4 - Fórmula estrutural da ricinina

O teor de ricinina varia muito entre partes da planta: 1,3% nas folhas (matéria seca), 2,5% em plântulas estioladas, 0,03% no endosperma da semente e 0,15% na casca da semente. O teor do alcaloide nas sementes é influenciado tanto por características genéticas como por estresses ambientais e se correlaciona negativamente com o teor de ricina nas sementes. SEVERINO et al., (2006) afirma que sua concentração é alta na cápsula do fruto (de 739 a 1.664 mg/100), média na casca da semente (de 258 a 431 mg/100) e pequena no endosperma (de 31 a 77 mg/100).

A ricinina é pouco afetada pelos tratamentos térmicos com vapor passando, assim, para a torta. Encontra-se nas bagas em quantidades relativamente pequenas, cerca de 0,3%. Possui temperatura de fusão entre 200 e 201°C e uma temperatura de sublimação de 152°C. O tratamento da torta com calor a vapor não elimina a ricinina eficientemente; já o tratamento com a amônia elimina cerca de 25% da ricinina mas possui, como desvantagem, a formação de produtos de degradação cuja toxidez não foi ainda avaliada (LEITE et al., 2005).

2.3.3 - Fração alergênica (CB-1A)

Define-se um alérgeno como uma substância normalmente inofensiva, encontrada no ambiente ou nos alimentos, capaz de produzir asma, febre e desconforto gastrointestinal, ao ser posta em contato com uma pessoa previamente sensibilizada (ICOA, 1989). Essencialmente, existem três tipos de alergia: atópica, retardada e anafilática, sendo que as reações causadas pela torta de mamona se caracterizam como atópica, na qual os sintomas aparecem em no máximo 60 minutos após a exposição. Por via oral, apenas 0,01% do CB-1A é absorvido pelo sistema digestivo de forma que, para provocar alergia através da alimentação, é preciso ingestão de grande quantidade de torta de mamona (TRUGO, 1979).

A fração alergênica da torta de mamona se trata de um conjunto de glicoproteínas, denominado CB-1A, cuja composição em aminoácidos está apresentada na Tabela 2.2. O complexo CB-1A representa cerca de 12,5% do peso da torta, sendo formado por cerca de 20 isoformas de proteínas com massa molecular entre 10 e 14 kDa pertencentes à classe das albuminas 2S (MACHADO et al., 2003). São proteínas de reserva e alérgenos, que foram identificadas como inibidoras da atividade da enzima α -amilase salivar humana e da α -amilase dos insetos (NASCIMENTO & MACHADO, 2006). Ressalta-se a inexistência do aminoácido triptofano, cuja carência na torta de mamona também prejudica seu uso como ração para animais não ruminantes.

Tabela 2.2 - Composição de aminoácidos da fração CB-1A da torta de mamona

Aminoácido	%	Aminoácido	%
Alanina	2,2	Leucina	4,7
Arginina	17,9	Lisina	5,3
Asparagina	3,6	Metionina	1,4
Cistina	6,4	Prolina	2,0
Fenilalanina	1,5	Serina	6,4
Glicina	3,0	Tirosina	1,7
Glutamina	34,9	Treonina	1,1
Histidina	1,4	Valina	3,1
Isoleucina	3,5		

Fonte: TRUGO (1979)

2.4- Desintoxicação da torta de mamona

A transformação da torta de mamona em um produto atóxico que possa ser usado para alimentação animal, já vem despertando, há muito tempo, a atenção de diversos pesquisadores no mundo, tendo-se obtido alguns resultados satisfatórios (PERRONE et al., 1966) embora alguns passos tecnológicos ainda necessitem ser desenvolvidos para que o produto tenha viabilidade econômica, principalmente quanto ao processo de desintoxicação.

Na década de 60 a “Sociedade Algodoeira do Nordeste Brasileiro S.A. – SANBRA” iniciou a produção de uma torta de mamona desintoxicada denominada *LexProteico*, que consistia no aquecimento do farelo de mamona em autoclave, com temperatura máxima de processamento de 125°C e pressão mínima de 1,05 atm (PERRONE et al., 1966).

Uma maneira ainda mais eficaz de inibir a ação da ricina é por meio do melhoramento genético, selecionando-se genótipos com menor teor da toxina, por melhoramento tradicional ou mesmo por transgenia. Entretanto, isto pode trazer problemas agrônômicos à cultura, como a possibilidade de maior susceptibilidade da planta a certas pragas comuns à cultura (FREIRE et al., 2006).

Em um trabalho realizado na Índia, ANANDAN et al. (2005) avaliando o efeito de diferentes métodos físicos (encharcamento em água, aquecimento com vapor, ebulição, autoclavagem, forno de ar quente) e químicos (amônia, formaldeído, hidróxido de cálcio, cloreto de sódio, ácido tânico, hidróxido de sódio) de desintoxicação, verificaram que os tratamentos que eliminaram 100% da ricina, foram a autoclavagem, a 1,05 atm por 60 minutos e a solução de hidróxido de cálcio misturado à torta de mamona, na proporção de 40 g/kg, reagindo durante a noite (8 horas) e secada ao sol no dia seguinte, avaliado pelo método de Lowry e visualização das bandas de proteína em gel de eletroforese. Dados sobre os tratamentos físicos e químicos aplicados para a desintoxicação da ricina da torta de mamona estão detalhados nas Tabelas 2.3 e 2.4. Resultados dos tratamentos mais eficientes foi a autoclavagem a 1,05 atm de pressão, durante 60 minutos, com Ca(OH)_2 na concentração de 4% por um período de contato de 8 horas.

Tabela 2.3 - Tratamentos físicos para remoção da ricina

Agente	Concentração	Tempo	Remoção(%)
Encharcamento	10 L de água	7h	65
		6 h	86
		12 h	84
Aquecimento com vapor	150 g de água (100°C)	30 min	73
		60 min	85
Ebulição	10 L de água (100°C)	30 min	90
		60 min	91
Autoclavagem	1,05 atm	30 min	85
		60 min	100
Forno de ar quente	100 °C	30 min	52
	120 °C	25 min	50

Fonte: ANANDAN et al. (2005)

Tabela 2.4 - Tratamentos químicos para remoção da ricina

Agente	Concentração	Tempo(h)	Remoção (%)
NaOH (mol/L)	0,38	8 h	86
	0,75		91
NaCl (mol/L)	0,25	8 h	82
	0,50		86
	1,00		91
Ca(OH) ₂ (g/kg)	10,0	8 h	67
	20,0		68
	40,0		100
Formaldeído (g/kg)	5,0	7 dias	39
	10,0		81
Amônia (g/kg)	7,50	7 dias	51
	12,50		59

Fonte: ANANDAN et al. (2005)

OLIVEIRA et al. (2007) verificaram, estudando a eficácia de diferentes métodos de desintoxicação da ricina no farelo de mamona, que somente os tratamentos com

autoclave em 1,05 atm durante 90 minutos e com hidróxido de cálcio ou óxido de cálcio, diluídos em água (1:10), na dose de 60 gramas/kg de farelo, se mostraram eficazes em desnaturar a ricina avaliada com base na presença das subunidades de ricina em gel a 15% de poliacrilamida (SDS-PAGE) em condição desnaturante.

OLIVEIRA (2008) concluiu, avaliando o uso do farelo de mamona ou torta de mamona, tratado ou não com $\text{Ca(OH)}_2/\text{kg}$, sobre o consumo e digestibilidade em ovinos com peso inicial médio de 56 kg, que o tratamento com hidróxido de cálcio do farelo ou torta de mamona, na dose de 40g/kg, apesar de não desnaturar completamente a ricina amplia a eficiência de utilização dos componentes energéticos e nitrogenados em dietas para ovinos. Além disto, não foram observados sintomas clínicos de intoxicação por ricina e não houve alteração dos níveis séricos das enzimas relacionadas com a função hepática.

COSTA et al. (2009) verificaram, estudando o desempenho de vacas leiteiras alimentadas com farelo de mamona tratado com óxido de cálcio, que o farelo de mamona tratado com 60 g de CaO/kg , base da matéria natural, pode substituir até 33,3% o farelo de soja em dietas para vacas leiteiras em confinamento, com produção diária de 20 kg de leite.

2.5 - Torta de mamona como alimento animal

Tratando-se de criação de animais, a nutrição representa 60% dos custos totais, sendo que o milho e a soja são os principais ingredientes utilizados nas rações. Novas formas de redução de custos têm sido buscadas e uma delas se trata da substituição da soja por subprodutos derivados do algodão, girassol, mamona e pinhão-manso.

O desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis para regiões semiáridas deve considerar a fragilidade do bioma caatinga quando manejado inadequadamente, as adversidades climáticas e a necessidade de conservação dos recursos naturais. A criação de animais é uma das alternativas mais promissoras para o semiárido, sendo a vegetação da caatinga a principal fonte de alimentação dos rebanhos. Ainda que apresente baixa capacidade de suporte, o desafio da exploração neste ambiente é a adoção de sistemas de produção que sejam sustentáveis no tempo e também apresentem competitividade.

A transformação da torta de mamona em um produto atóxico que possa ser usado para a alimentação de animais, despertou a atenção de diversos pesquisadores no mundo tendo-se obtido alguns resultados satisfatórios (GARDNER et al., 1960; BESERRA, 2007; CÂNDIDO et al., 2008), embora algumas técnicas ainda careçam de desenvolvimento para que o produto possa tornar-se economicamente viável.

No caso de animais ruminantes (bovinos, ovinos e caprinos) os baixos teores dos aminoácidos lisina e triptofano na torta de mamona, não constituem fatores limitantes para sua utilização pois os micro-organismos do rúmen são capazes de sintetizar esses aminoácidos, tornando a torta de mamona um alimento promissor na alimentação para ruminantes porém, devido à escassez de alguns aminoácidos, ela não pode ser utilizada como única fonte proteica de animais monogástricos (cavalo, suíno, aves, peixes).

Na década de 60 a “Sociedade Algodoeira do Nordeste Brasileiro S.A. – SANBRA” iniciou a produção de uma torta de mamona desintoxicada denominada Lex Proteico (PERRONE et al., 1966). MIRANDA et al. (1961) citados por BANDEIRA et al. (2004), testaram o uso da torta desintoxicada (Lex Protéico) na alimentação de vacas leiteiras, de forma satisfatória. O Lex Proteico não intoxicou os animais e trouxe resultados próximos aos da torta de soja, conforme se observa na Tabela 2.5

Tabela 2.5 - Composição percentual em aminoácidos na torta de mamona desintoxicada e no farelo de soja

Aminoácido	Torta de mamona	Farelo de soja	Mamona em relação à soja
Arginina	3,505	2,563	+ 26,9 %
Lisina	0,669	2,549	- 281,0 %
Metionina	0,633	0,663	- 4,7 %
Cistina	0,433	0,583	- 34,6 %
Triptofano	0,086	0,66	- 667,4 %
Histidina	0,564	0,785	- 39,2 %
Leucina	2,816	3,426	- 21,7 %
Isoleucina	1,89	1,947	- 3,0 %
Fenilalanina	1,775	2,005	- 13,0 %
Treonina	1,224	1,772	- 44,8 %
Valina	2,429	2,341	+ 3,6 %

Fonte: BENESI citado por FREIRE et al. (2006)

Os valores nutritivos da torta de mamona reforçam ainda mais seu potencial para ser usado como ração animal, desde que seja feito o tratamento de destoxicação que garanta padrões de qualidade confiáveis.

2.6 - Caracterização química e físico-química da torta de mamona

A qualidade da torta de mamona e suas características são conferidas por um conjunto de constituintes físico-químicos e químicos, responsáveis pela qualidade do produto, por serem importantes na sua aceitação final; além de caracterizar a matéria-prima, também são utilizados no controle de qualidade do produto final (BRASIL, 2000).

Quando se trabalha com processamento de resíduos é imprescindível que se realize sua caracterização para que o produto obtido chegue ao consumidor apresentando ótima qualidade e maior vida de prateleira. Outro objetivo da caracterização é identificar a composição nutricional do produto (BRASIL, 2000).

2.6.1 – Teor de água

A determinação do teor de água é uma das medidas mais significativas e utilizadas na análise do produto. O teor de água está relacionado com sua estabilidade, qualidade e composição e pode afetar o processamento do produto (OLIVEIRA et al., 1999).

De acordo com CASTRO (2003) a água contida nos produtos agrícolas é excelente meio de transmissão de calor, sendo eficiente tanto para resfriar quanto para aquecer. Existem pelo menos dois tipos de água contida nos produtos: a água livre, fracamente ligada ao substrato e que funciona como solvente, permitindo o crescimento de micro-organismos e as reações químicas e a água combinada, fortemente ligada ao substrato, mais difícil de ser eliminada e não é utilizada como solvente nem para o crescimento de micro-organismos nem, muito menos, para reações químicas.

Segundo OLIVEIRA & OLIVEIRA (2004) o teor de água presente em qualquer produto é de suma importância para determinação de procedimentos necessários ao processamento e armazenamento; é uma das determinações mais difíceis de executar

visto que os métodos usuais para sua quantificação envolvem a destilação da água presente no alimento e, com isto, outros compostos voláteis também são evaporados. Em função da temperatura a que é submetida a amostra para a evaporação da água presente, pode haver caramelização de compostos tipo açúcares e proteínas, além da degradação de outros componentes.

O teor de água corresponde à perda em peso do produto quando aquecido em condições nas quais a água é removida; na realidade, não só a água é removida mas também outras substâncias se volatilizam nessas condições. O resíduo obtido no aquecimento direto é chamado resíduo seco; o aquecimento direto da amostra a 105°C é o processo mais usual. Amostras de alimentos que se decompõem ou iniciam transformações a essa temperatura, devem ser aquecidas em estufas a vácuo, onde se reduz a pressão e se mantém a temperatura de 70°C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Quando um produto é aquecido em condições nas quais a água é removida, ocorrerá perda de peso, a qual corresponde ao teor de água do produto. O resíduo obtido do aquecimento direto é chamado resíduo seco (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

De modo geral, a maior ou menor facilidade na determinação do teor de água de um produto dependerá das condições em que a água se encontra e da natureza de outras substâncias presentes (CECCHI, 2003).

2.6.2- Teor de óleo

O óleo de mamona é um óleo vegetal, conhecido como óleo de rícino e, internacionalmente, como *castor oil*; diferencia-se dos demais óleos vegetais pela grande quantidade de hidróxidos que contém, especialmente o do ácido ricinoleico. Conforme SAVY FILHO (2007) a presença desse triglicerídeo na sua composição é de 90%, em média, contendo três grupos altamente reativos, que permitem obter-se grandes números de reações químicas decorrentes da presença do grupo carboxila no carbono 1, uma dupla ligação no carbono 9 e a hidroxila no carbono 12 que, juntas, permitem qualidades específicas à produção de uma infinidade de produtos industriais.

Embora impróprio para consumo humano, sua importância se concentra na ampla aplicação industrial como matéria-prima usada para a fabricação de uma gama de produtos (CHIERICE & CLARO NETO, 2007). O grupo hidroxila confere, a esse composto, estabilidade e alta viscosidade, permitidas em largas faixas de temperatura, favorecida pela formação de pontes de hidrogênio intermoleculares; além de solidificar em baixas temperaturas, também possuem estabilidade oxidativa. O grupo hidroxila também lhe confere propriedade exclusiva de solubilidade em álcool (MOSHKIN, 1986). Conforme BELTRÃO et al. (2003) é o único glicerídeo feito pela natureza, solúvel em álcool; trata-se, portanto, de um dos mais densos e mais viscosos de todos os óleos vegetais e animais, com viscosidade dez vezes maior que o óleo de girassol.

Os teores de óleo das sementes de mamona variam de 35 a 55%, cujo padrão comercial é de 45%. O óleo de mamona é classificado, comercialmente, como: óleo industrial número 1 (Padrão), límpido e brilhante com no máximo 1% de acidez; 0,5% de impurezas e água, óleo industrial número 3 (comercial) cuja acidez e impurezas não devem ser maiores que 3 e 1% respectivamente; já o óleo medicinal deve ser totalmente isento de impurezas (FREIRE et al., 2006). No processo de extração o óleo pode ser obtido através de diferentes métodos, extração por solvente ou, ainda, pela prensagem, a frio ou a quente. A extração por prensagem a frio é utilizada para elaboração do óleo industrial (MACEDO, 2004).

2.6.3 - Proteína bruta

A proteína cujo nome significa “primeiro” ou o “mais importante” é a macromolécula mais significativa encontrada nos seres vivos; é um componente básico de toda célula viva e funciona como enzima, componente estrutural e material de reserva. O valor nutricional de uma proteína está intimamente relacionado à sua composição em aminoácidos (MOLINA et al., 2001).

De acordo com RIBEIRO & SERAVALLI (2004) as proteínas exercem várias funções biológicas que incluem as contráteis (miosina, actina), estruturais do corpo (colágeno, queratina), biocatalizadores (enzimas), hormonais (insulina, glucagon, hormônios da tireóide), de transferência (hemoglobina, que transporta oxigênio e transferrina que transporta ferro) e de reserva (ovoalbumina, caseína); além disto, as

proteínas podem exercer a função de proteção contra agressores. Segundo CECCHI (2003) nos alimentos, além da função nutricional, as proteínas têm propriedades sensoriais e de textura e podem vir combinadas com lipídeos e carboidratos.

A análise das proteínas é feita, em geral, pelo método de Kjeldhal, que se baseia na determinação do teor de nitrogênio de origem orgânica, implicando em que o nitrogênio proveniente de outras fontes, tais como ácidos nucleicos, alcaloides, lipídeos nitrogenados, carboidratos nitrogenados, porfirinas ou pigmentos nitrogenados, estão inclusos no total (CECCHI, 2003). O teor de proteínas é determinado pela multiplicação do valor do nitrogênio total da amostra pelo fator 6,25, convertendo em proteínas os resultados. O fator 6,25 é calculado em função do percentual de nitrogênio da molécula proteica que, para a maioria das proteínas, é da ordem de 16% mas este valor varia para as proteínas de alguns alimentos (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

As proteínas se destacam na hierarquia bioquímica que mantém a homeostase do organismo vivo, não apenas por suas funções de sustentação de órgãos e tecidos como também por sua atuação como hormônios proteicos e enzimas, relacionados a quase todas as etapas do metabolismo; assim, entre os grupos de substâncias associadas à alimentação e nutrição, a carência de proteínas se reflete mais intensamente sobre o equilíbrio dinâmico do metabolismo, que outros grupos integrantes da alimentação de seres humanos e animais, o que se torna mais evidente em estados de carência que, persistindo por certos períodos, compromete o indivíduo, levando-o a danos irreversíveis (AZEVEDO & BELTRÃO, 2007).

2.6.4 - Carboidratos

Os carboidratos são substâncias orgânicas também chamadas hidratos de carbono; esses nomes foram dados porque, na molécula da maior parte dos carboidratos, para cada carbono presente existem dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio, na mesma proporção existente na molécula de água; daí o nome carbo(carbono) hidrato (hidros= água).

Os carboidratos abrangem um dos maiores grupos de compostos orgânicos encontrados na natureza e, juntamente com as proteínas, formam os constituintes principais do organismo vivo, sendo a mais abundante e econômica fonte de energia

para o homem (BOBBIO & BOBBIO, 2003). A natureza, através do processo da fotossíntese a partir de dióxido de carbono e água, sintetiza carboidratos, principalmente amido, celulose e sacarose dos quais, por hidrólise, são obtidas a glucose e a frutose.

2.6.5- Ricina

Ricina é um polipeptídeo constituído de duas cadeias; tem uma LD50 de 30ppm é um dos compostos mais tóxicos produzidos na natureza capaz de destruir enzimaticamente os ribossomos de células eucarióticas. A ricina é membro da família chamada toxinas A-B, que são proteínas produzidas por plantas e bactérias e que possuem alta capacidade de penetração nas células humanas, tornando-as altamente letais. Devido à sua ação catalítica sobre polipeptídeos (A cadeia A ou RTA), se liga de maneira covalente via ligação simples de disulfito, ligando-se aos polipeptídeos da célula (A cadeia B ou RTB) (LORD et al., 1994). RTA desnatura especificamente 28S RNA, e ribossomos contendo RTA - modificando 28S RNA os quais não são mais capazes de sintetizar proteínas, levando as células à morte (LIMA, 2007).

Quando inalada, a ricina é extremamente tóxica, tendo sido utilizada como arma química em guerras passadas e em bioterrorismo. Quando administrada pelas vias aéreas pode causar edema pulmonar ou inflamação nos alvéolos. A morte ocorre como consequência de uma severa falta de oxigenação no sangue, de vez que ocorre falência do fluxo alveolar não havendo, assim, a captura de oxigênio. Métodos para medição de ricina são essenciais para que se possa trabalhar com essa toxina, tanto em pesquisa quanto em processamento industrial.

A ricina é uma proteína encontrada exclusivamente no endosperma das sementes de mamona, não sendo detectada em nenhuma outra parte da planta. A concentração dessa proteína na semente pode variar entre diferentes genótipos, tendo sido detectados teores de 1,5 a 9,7 mg/g de semente em 18 acessos de um banco de germoplasma dos Estados Unidos (PINKERTON et al., 1999). Atualmente já se conhece o mecanismo de toxidez da ricina que está presente em abundância nas sementes da mamoneira e que esta toxina faz parte de uma ampla família de enzimas conhecidas como Proteínas Inibidoras de Ribossomos (RIP). As RIP são capazes de inativar enzimaticamente ribossomos por depuração de uma invariante adenina do 28s rRNA, ou seja, há quebra

da ligação glicosídica entre a adenina e a ribose levando à perda desta base, tornando impossível a síntese proteica, o que leva à morte celular (LIMA, 2007).

O óleo de mamona não possui ricina pois toda a proteína da semente permanece na torta após o processo de extração, até mesmo porque essa proteína é insolúvel em óleo (SEVERINO, 2005).

2.6.6 - Potencial de hidrogênio (pH)

Vários fatores tornam importante a determinação do pH de um produto, tais como: influência na palatabilidade; o crescimento, a sobrevivência ou a destruição dos micro-organismos; escolha da embalagem que será utilizada para o produto; escolha do tipo de material de limpeza e desinfecção; escolha do equipamento com o qual se vai trabalhar na indústria; escolha de aditivos e vários outros (MACHADO et al., 2006).

Segundo CHITARRA & CHITARRA (2005) para uma faixa de concentração de ácidos entre 2,5 e 0,5% o pH aumenta com a redução da acidez. Uma pequena variação no valor do pH é detectada nos testes sensoriais (sabor, cor, odor).

O pH é definido de acordo com a Equação 1:

$$pH = \log \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

AZEREDO et al. (2004) afirmaram que a redução de um teor de água no pH representa um aumento de dez vezes na concentração de H⁺. O pH é uma característica intrínseca do produto, de fundamental importância na limitação dos tipos de micro-organismos capazes de se desenvolver na maior ou menor facilidade de conservação. Conforme as concentrações de íons hidrogênio (pH) de um produto, é importante, pela influência que exerce sobre os tipos de micro-organismos aptos à sua multiplicação e, portanto, sobre as alterações que, logicamente, deveriam produzir.

2.6.7– Acidez titulável

Conforme CARVALHO et al. (2008), a acidez total (fixa e volátil) em um produto é resultante dos ácidos orgânicos do próprio produto, dos adicionados intencionalmente durante o processamento e daqueles resultantes de alterações químicas

do produto; portanto, a determinação de acidez total pode fornecer dados valiosos na apreciação do processamento e do estado de conservação do produto.

De acordo com BLEINROTH (1988) o teor de acidez total tende a aumentar com o decorrer do crescimento da fruta, até seu completo desenvolvimento fisiológico, quando então começa a decrescer à medida em que vai amadurecendo. Para CHITARRA & CHITARRA (2005) as mudanças que ocorrem na concentração de ácidos orgânicos durante o desenvolvimento diferem para cada tipo de fruto.

Para CARVALHO et al. (2008) os métodos que avaliam a acidez total se resumem em titular com solução padronizada de álcali a acidez do produto, empregando-se a fenolftaleína como indicador do ponto final da titulação ou o peagômetro.

A determinação da acidez pode fornecer um dado valioso na apreciação do estado de conservação de um produto. Um processo de decomposição, seja por hidrólise, oxidação ou fermentação, quase sempre altera a conservação dos íons hidrogênio. Os métodos de determinação da acidez podem ser os que avaliam a acidez titulável ou que fornecem a concentração de íons-hidrogênio livres, por meio do pH. Os métodos que avaliam a acidez titulável se resumem em titular, com solução álcali padrão, a acidez do produto (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

2.6.8 – Cinzas

Frutos, vegetais e seus derivados, como qualquer outro produto, contêm materiais orgânicos que devem ser destruídos antes da estimacão dos minerais. A escolha do procedimento usado para destruição do material orgânico depende da natureza, dos constituintes inorgânicos presentes, do material a ser determinado e da sensibilidade do método (RANGANNA, 1991).

Segundo SILVA & QUEIROZ (2002), cinzas ou resíduo mineral é o produto que se obtém após aquecimento de uma amostra a uma temperatura de 500 a 600°C, ou seja, até o aquecimento rubro, durante 4 horas ou até a combustão total da matéria orgânica; esta determinação fornece apenas uma indicação da riqueza da amostra em elementos minerais. O teor de cinzas pode permitir, às vezes, uma estimativa dos teores de cálcio e

fósforo do produto analisado, porém alguns alimentos de origem vegetal são, ainda, ricos em sílica, o que resulta em um teor elevado de cinzas. A determinação das cinzas ou matéria mineral é feita, muitas vezes, apenas para se conhecer o extrato não nitrogenado e/ou a matéria orgânica de determinadas amostras, sem a preocupação do teor de minerais.

Segundo CECCHI (2003) cinza de um produto refere-se ao resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica, que é transformada em CO₂, H₂O e NO₃. A cinza é constituída, sobretudo, de grandes quantidades de K, Na, Ca e Mg; pequenas quantidades de Al, Fe, Cu, Mn e Zn e traços de Ar, I, F e outros elementos. É importante observar que a composição das cinzas não corresponde à quantidade de substâncias minerais presentes nos produtos, devido às perdas por volatilização ou mesmo pela reação entre os componentes.

De acordo com OLIVEIRA et al. (1999) a determinação de cinzas é considerada medida geral de qualidade, além de frequentemente ser utilizada como critério na identificação dos alimentos. As cinzas contêm os componentes minerais, dentre eles: cálcio, magnésio, ferro, fósforo, chumbo, mercúrio e outros. O teor muito alto de cinzas indica presença de adulterantes.

Uma análise global da composição das cinzas nos diferentes tipos de produto não é, além de trabalhosa, de interesse igual ao da determinação de certos componentes, conforme a natureza do produto; assim, as determinações de fosfatos, sulfatos, cloretos, cálcio e ferro, são as mais usuais (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

2.6.9 – Fibra bruta (FB)

São os carboidratos estruturais, celulose e hemicelulose, mais comumente conhecidos como fibra. São considerados os constituintes mais importantes na nutrição e alimentação de ruminantes, pelo fato de serem os mais abundantes nos carboidratos, compreendendo a maior porção da parede celular das células vegetais. Devido às características nutricionais, a fibra é um agregado de compostos que mais influencia a dinâmica digestiva nos animais ruminantes, pois esses componentes estruturais são degradados lentamente. No fracionamento das porções fibrosas a metodologia de WEENDE, proposta em 1964 para determinação da fibra bruta, não é muito eficiente e

subestima os reais valores de fibra, visto que o tratamento com alcali solubiliza porções de lignina e hemicelulose. Nesta metodologia a lignina solubilizada se torna parte do extrato não nitrogenado, o qual deveria ser o componente mais digestível do produto. A inclusão da lignina no extrato não nitrogenado resulta no caso de volumosos, em menor digestibilidade desta fração em relação à fibra bruta. Desta forma, o método de Van Soest tornou-se mais eficiente na caracterização da fibra, por conseguir isolar, com maior definição, as porções fibrosas de lenta e rápida degradação, fibra em detergente ácido e fibra em detergente neutro, respectivamente.

2.6.9.1 - Fibra em detergente neutro (FDN)

O procedimento para determinação da fibra em detergente neutro foi desenvolvido no início da década de 60, do século passado. A FDN, ou parede celular, é o resíduo obtido após extração do conteúdo celular com solução de sulfito láurico de sódio e EDTA em pH 7,0, em ebulição, recuperando celulose, hemicelulose e lignina, com alguma contaminação por proteína, pectina, minerais e amido. Este método será desenvolvido, inicialmente, para avaliação de forragens e resíduos de produtos agrícolas.

2.6.9.2 - Fibra em detergente ácido (FDA)

Na tentativa de evitar a solubilização da lignina, como ocorre no método da FB (fibra bruta), VAN SOEST (1994) desenvolveu um método que não utiliza álcali no tratamento da fibra e, sim, uma solução detergente ácido. Com este tratamento a fibra em detergente ácido é o resíduo obtido após a extração sob ebulição, dos compostos solúveis com solução de ácido sulfúrico e brometo cetiltrimetil amônia, recuperando celulose e lignina, com alguma contaminação por pectina, minerais e compostos nitrogenados.

A fibra em detergente ácido é amplamente utilizada para avaliação de forragens e coprodutos agrícolas, uma vez que o tipo de fibra isolada por este método, tem elevada correlação com a digestibilidade enquanto a fibra em detergente neutro tem correlação com o consumo.

2.6.10 – Valor calórico

Caloria é uma medida de energia que equivale à quantidade de calor necessária para elevar, de um grau centígrado, um grama de água. As calorias podem ser obtidas dos carboidratos (açúcares), das proteínas, das gorduras e do álcool. O teor calórico dos produtos agrícolas não tem a ver com o seu teor de vitaminas e sais minerais. Com uma dieta bem balanceada deve-se considerar a necessidade calórica de cada indivíduo (ANGELUCCI et al., 1987).

O aproveitamento da torta de mamona para fins energéticos foi avaliado por DRUMMOND et al. (2006), os quais verificaram que este produto possui poder calorífico de 4.500 Kcal kg⁻¹. Comparado com outras tortas de oleaginosas do Programa Brasileiro de Biodiesel, o poder calorífico da torta de mamona é similar ao do dendê e superior ao do girassol e da soja. O poder calorífico de outros resíduos e materiais vegetais, vastamente utilizados no estado de Pernambuco como fontes alternativas de energia, são: bagaço de cana-de-açúcar (2.300 Kcal kg⁻¹), lenha (2.700 Kcal kg⁻¹), casca de coco (3.500 Kcal kg⁻¹), serragem ou cavaco de madeira (2.400 Kcal kg⁻¹) e eucalipto (4.600 Kcal kg⁻¹). Claramente, pode-se observar que o potencial energético da torta de mamona se destaca como resíduo de alto poder calorífico, superior ao de outros materiais que são utilizados em fornos e caldeiras industriais no estado de Pernambuco, ficando equiparado com o valor energético do eucalipto. O elevado poder calorífico deste resíduo torna-o promissor como fonte de alternativa de energia para fornos e caldeiras Industriais (DRUMMOND et al., 2006).

2.6.11- Calor específico

Conforme LEWIS (1993) calor específico é a quantidade de calor necessária para alterar a temperatura de um teor de água com massa em 1°C, importante para determinação da quantidade de energia a ser adicionada ou removida nos processos de aquecimento e resfriamento; é definido, também, como a energia em quilocalorias (Q) que a massa de um quilograma (m) que um produto precisa receber para elevar sua temperatura de 1°C (Δt). É imprescindível observar que este calor aumenta no sentido em que o produto se aproximado ponto de congelamento com o qual terá o máximo valor (CORTEZ et al., 2002).

Segundo ALVARADO (2001) quando não existe mudança de fase, o calor específico é a quantidade de calor que ganha ou perde um quilograma de produtos agrícolas para produzir uma mudança de temperatura requerida, conforme a Equação 2.

$$Cp = \frac{Q}{m \Delta t} \quad (2)$$

em que:

Cp- calor específico, kcal.kg⁻¹°C⁻¹

Q - quantidade de calor, kcal

m – massa, kg

Δt - variação da temperatura, °C

Se o calor transferido entre a superfície do produto e o ambiente é grande mas a condutividade térmica do produto é baixa e seu calor específico e peso específico são grandes, o tempo de resfriamento será maior; além disto, as dimensões do produto são também significativas e grande espessura representa maior tempo; outrossim, as dimensões do produto também são oportunas, visto que grande espessura representa maior tempo. Outros fatores que afetam este tempo são o tipo e as dimensões da embalagem, além da temperatura e velocidade do meio de resfriamento e o método empregado (CORTEZ et al., 2002).

Vários são os métodos para se determinar, experimentalmente, o calor específico de produtos agrícolas, em que os mais conhecidos são: o método das misturas, o método das placas e o método do calorímetro diferencial de varredura (DSC).

2.6.11.1 - Método das misturas

Aqui, a amostra com massa e temperatura conhecida é colocada em um calorímetro com capacidade calorífica previamente determinada, contendo água cuja massa e temperatura também são conhecidas. O calor específico da amostra é calculado através da equação do balanço de calor, Equação 9, entre o calor ganho ou perdido pelo calorímetro e aquele absorvido ou perdido pela amostra.

Segundo MOHSENIN (1980) o método da mistura direta é bastante utilizado consistindo em se utilizar um recipiente isolado de capacidade calorífica conhecida,

com um líquido inerte no qual, através de um balanço global de massa e energia em um sistema isolado termicamente, é calculado o calor específico, conforme a Equação 3.

$$c_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{\text{cal}} (T_1 - T_3) = c_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (3)$$

em que:

$c_1 = c_2$ - calor específico da água, $\text{cal.g}^{-1}\text{°C}^{-1}$

m_1 - massa de água em estado natural, 100g

m_2 - massa de água fria, 100g

T_1 - temperatura da água em estado natural, °C

T_2 - temperatura da água fria, °C

T_3 - temperatura de equilíbrio da mistura, °C

2.6.11.2- Método das placas

Neste método a amostra é envolvida por placas aquecidas eletricamente, mantidas na mesma temperatura da amostra, que também é aquecida da mesma maneira. Desta forma, não existem, teoricamente, perdas de calor; então, o calor cedido pelo produto em um tempo é igual ao ganhado pelo mesmo (MOHSENIN, 1980).

2.6.11.3- Calorímetro diferencial de varredura

De acordo com ALVARADO (2001) neste método, conhecido como DSC, mede-se a energia requerida para estabelecer uma diferença de temperatura igual zero, entre o produto e o material de referência, do qual se calcula o calor específico. A quantidade da amostra é mínima; logo, o material deve ser cuidadosamente homogeneizado. Esses equipamentos, conhecidos como DSC, são complexos e de preços altos, conforme o modelo e a precisão que oferecem.

2.7- Atividade de água

A atividade de água é uma das propriedades mais importantes para o processamento, conservação e armazenamento de produtos agrícolas. Ela quantifica o grau de ligação da água contida no produto e, conseqüentemente, sua disponibilidade

para agir como solvente e participar das transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas (MELONI, 2003).

Nos produtos agrícolas a água se encontra em duas formas, ou seja, na forma de água livre e água de constituição. De acordo com RIBEIRO & SERAVALLI (2004) a água ligada é definida como a água em contato com solutos e outros constituintes não aquosos em vários graus de ligação, podendo ser dividida em: água constitucional, que é a água ligada mais fortemente aos constituintes não aquosos dos produtos agrícolas; através de ligações iônica vicinal é aquela que ocupa os espaços mais próximos da maioria dos grupos hidrofílicos (afinidade pela água) presente nos constituintes; água de multicamada representa a água ligada de forma mais fraca aos constituintes não aquosos do produto. A água livre no produto é a que representa as mesmas propriedades da água pura e que está disponível para o crescimento de micro-organismos.

Segundo MELONI (2003) as principais características da água ligada (combinada) são: não congelável, baixa pressão de vapor, alta energia de ligação, não disponível como solvente, reduzida mobilidade molecular e propriedades dielétricas diferentes das da água pura. BOBBIO & BOBBIO (2003) definem a atividade de água como sendo a relação entre pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o produto e a pressão de vapor de água pura a mesma temperatura. A medida desse valor se baseia no fato de que a pressão do vapor de água sobre um produto corresponde, após atingir o equilíbrio, a uma temperatura corresponde à porcentagem do teor de água de equilíbrio do produto. Quantitativamente, a atividade de água será igual a (UR) e pode ser representada pela Equação 4.

$$a_w = \frac{P}{P_o} = \frac{UR}{100} \quad (4)$$

em que:

a_w – atividade de água, %

P – pressão de vapor de água no produto, atm

P_o – pressão de vapor de água pura nas condições de temperatura e pressão, atm

UR –umidade relativa, %

Segundo PARK et al. (2001) a determinação da atividade de água é uma das medidas mais importantes no processamento e análise dos produtos agrícolas *in natura* ou processados, devido à sua influência, no que diz respeito à qualidade e à estabilidade

do produto. A velocidade das reações químicas desejáveis ou não, depende da mobilidade e concentrações dos compostos e enzimas envolvidos, conferidas pela quantidade de atividade de água.

Quando não existe água disponível a medida de atividade de água será igual a zero porém, se a amostra é constituída em sua totalidade, por água pura, então a atividade de água é igual a 1.0; portanto, as medições da atividade de água dos diversos produtos estão sempre compreendidas entre zero e um. A atividade de água influencia o comportamento microbiológico. De modo geral, as bactérias são mais exigentes quanto à disponibilidade de água que os bolores e leveduras (BRASEQ, 2006).

De acordo com FERREIRA & PENA (2003) a atividade de água é uma medida de fundamental importância visto que, por meio dela, podem ser previstas reações químicas e enzimáticas, além de desenvolvimento de micro-organismos; quando o material biológico é exposto a certo teor de água, ele perde ou ganha água para ajustar seu próprio teor de água a uma condição de equilíbrio com o ambiente; isto ocorre quando a pressão de vapor da água na superfície do material se iguala à pressão de vapor de água do ar que o envolve.

Os métodos utilizados para determinar a atividade de água, segundo FIOREZE (2004) são:

Método estático

Consiste em se colocar o produto em repouso num recipiente fechado acima do nível de uma solução salina saturada ou ácida, mas sem contato com a mesma; o recipiente deve estar em ambiente cuja temperatura seja constante e o produto é pesado depois de alguns dias, até manter peso constante e, a partir daí, é determinado seu teor de água de equilíbrio.

Método semiestático

Difere em relação ao estático, posto que o produto sofre uma pequena agitação periódica para facilitar a difusão do teor de água nas proximidades da sua superfície para a atmosfera, dentro do recipiente, o que torna este processo um pouco mais rápido.

Método dinâmico

Consiste em se colocar o produto em uma cápsula com um sensor de umidade relativa, com o menor espaço livre possível e em temperatura constante; devido ao pequeno espaço livre, atingindo o equilíbrio rapidamente. As variações de umidade relativa do ambiente, corresponde á atividade de água do produto, que é então pesado para determinar o seu teor de água de equilíbrio.

O comportamento higroscópico dos materiais biológicos tem sido estudado ao longo dos anos, por diversos autores, com a finalidade de se ampliar e conhecer melhor como este fenômeno ocorre dentro dessa diversidade. Pesquisadores como OLIVEIRA et al. (2004) estudaram as isotermas de adsorção de polpa de tamarindo e SILVA et al. (2005) a atividade de água de cajá em pó.

2.7.1 - Isotermas de sorção

Os produtos agrícolas são materiais capazes de absorver, reter ou eliminar água, os quais sempre estabelecem um equilíbrio de umidade com o ar ao seu redor. A água sempre causa aumento da pressão de vapor sobre a superfície das amostras e, quando esta pressão e a pressão de vapor de água de atmosfera são iguais, ocorre equilíbrio da umidade (ARAÚJO et al., 2005).

A água é um dos mais importantes componentes dos produtos agrícolas, capazes de afetar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas. A forma como a água afeta a natureza física e as propriedades dos produtos agrícolas, é complicada devido à interação entre a água e o meio, o que envolve a estrutura física e a composição química dos diversos solutos, incluindo-se polímeros e coloides ou partículas dispersas. É possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre e sua conservação. O teor de água livre é expresso pela atividade de água (a_w) que é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o produto e a pressão de vapor de água pura, na mesma temperatura, ou seja, a umidade relativa em equilíbrio com o produto na temperatura considerada (PARK et al., 2006).

Segundo SANTOS et al. (2004) a capacidade de adsorção de água de produtos agrícolas é mais facilmente estudada por meio de curvas isotérmicas. A isoterma de

adsorção do teor de água representa a quantidade máxima de água absorvida por uma substância, em determinada temperatura constante, em função da umidade relativa.

Uma isoterma de sorção pode ser dita de adsorção ou dessorção: a primeira é feita quando um material mais seco é colocado em várias atmosferas, aumentando a umidade relativa e medindo aumento de peso, devido ao ganho de água; na segunda, o material, inicialmente úmido, é colocado sob as mesmas condições ambientais utilizadas na adsorção, sendo medida a perda de peso, em virtude da saída de água (KUROZAWA et al., 2005).

Isotermas de adsorção e dessorção são a representação gráfica da umidade de equilíbrio da amostra em função da atividade de água, à temperatura constante; são importantes na aplicação prática no cálculo da atividade de água como, por exemplo, em mistura de componentes com diferentes atividades de água; na estimativa do peso e na área da camada primária; no estudo do tipo de embalagem mais adequada, face a capacidade de adsorção de água pelo produto; permite, ainda, a predição do grau de desidratação do produto frente à mudança na temperatura ambiente, durante o armazenamento.

De acordo com LOMAURO et al. (1985) uma isoterma de adsorção do teor de água pode ser dividida em três regiões, dependendo do estado de água presente nos produtos: a primeira região representa a adsorção de uma película monomolecular de água, entre 0 e 0,35 de umidade relativa; a segunda região, que representa a adsorção nas camadas adicionais acima da monocamada, e se localiza entre 0,35 e 0,60 de umidade relativa; a terceira região, localizada acima de 0,60 relativa, diz respeito à água condensada nos poros do material, seguida da dissolução de materiais solúveis presentes.

Usam-se dois métodos para determinação experimental das curvas de umidade de equilíbrio: o método estático e o método dinâmico (BROOKER et al., 2004); no estático, o teor de água de equilíbrio entre o produto e a atmosfera circundante é atingido sem movimentação do ar enquanto no método dinâmico o ar ou o produto é movimentado, até que o equilíbrio seja atingido.

Através da construção de isotermas de adsorção do teor de água pode-se resolver numerosos problemas de processamento e estocagem de produtos agrícolas, entre os quais: predição do tempo de secagem, da vida de prateleira em determinada embalagem e dos requisitos básicos necessários para que se possa embalar um produto e, ainda, na caracterização de um produto quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes (PENA et al., 2000).

A maior vantagem da utilização de modelos matemáticos na predição de isotermas de adsorção do teor de água de equilíbrio reside no fato de que com poucos pontos experimentais, pode-se construir uma isoterma a qual, por outro lado, pode ser facilmente interpolada para obtenção de pontos nas regiões de baixa e alta atividade de água, pontos esses de fácil determinação experimental (PENA et al., 2000).

2.7.1.1- Tipos de isotermas

BRUNAUER et al. (1938) classificaram as isotermas de adsorção (classificação de Brunauer-Emmett-Teller, BET) em cinco tipos gerais, mostrados na Figura 2.5; as isotermas de adsorção do tipo I e do tipo II são chamadas isotermas de Langmuir e sigmoidal ou de estrutura em S, respectivamente. Nenhum nome específico foi dado para os demais tipos de isotermas de adsorção; os tipos II e III têm estreita relação com os tipos IV e V, com exceção de que a máxima adsorção ocorre em pressões abaixo da pressão de vapor de água do meio. As isotermas de forma sigmoidal são características de muitos alimentos, tais como materiais proteicos ou farináceos, como farinha de trigo, amidos e amidos modificados (ASCHERI et al., 2005). Alimentos, tais como frutas, produtos de confeitaria e café solúvel de elevado teor de açúcares e outras moléculas solúveis de baixo peso molecular e pobre em polímeros de alto peso molecular, exibem isotermas de sorção do tipo I (CHETANA et al., 2005).

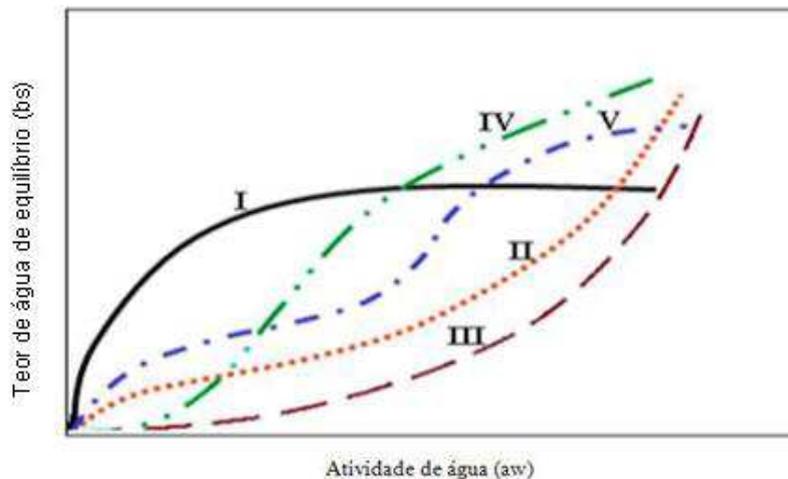


FIGURA 2.5 - Tipos de isothermas de sorção
 Fonte: BRUNAUER et al. (1938)

As isothermas de adsorção do teor de água de muitos produtos não são lineares, em geral, apresentam forma sigmoide e têm sido classificadas como isothermas do tipo II, sendo que no caso dos frutos predominam formas com concavidade voltada para o eixo das abscissas até níveis intermediários de umidade relativa, passando a uma forma exponencial em regiões dos teores de umidade relativa elevados.

2.7.2 - Modelos Matemáticos para ajuste das isothermas

De acordo com PENA et al. (2000) existem numerosos modelos matemáticos disponíveis na literatura, com capacidade de prever uma isoterma de adsorção do teor de água nos produtos agrícolas. As equações de dois Coeficientes são mais utilizadas por serem de fácil solução matemática porém têm o inconveniente de, em geral, não se prestarem para prever isothermas em toda a faixa; já as equações de três ou mais parâmetros quase sempre dão melhores resultados na predição de Halsey, Henderson, Oswin e Cavalcanti Mata.

2.7.2.1 – Modelo de Halsey

HALSEY (1985) desenvolveu um modelo matemático (Equação 5) que considera a condensação das multicamadas a uma distância relativamente grande da superfície, assumindo que a magnitude do coeficiente b caracteriza o tipo de integração entre o vapor e o sólido pois, se b é grande, a tração entre o sólido e o vapor é muito específica

e não se estende para muito longe da superfície; se, porém, b é pequeno, as forças de atração predominantes são de Van der Waals e capazes de agir a grandes distâncias da superfície.

$$X_e = [\exp(a - bT) / - \ln(a_w)]^{1/c} \quad (5)$$

em que:

a_w - atividade de água, %

X_e - teor de água de equilíbrio, %

a, b e c – coeficientes que dependem da temperatura e natureza do produto

T - temperatura, °C

2.7.2.2 – Modelo de Henderson

O modelo de Henderson (Equação 6) é um modelo empírico, muito utilizado no estudo de atividade de água de produtos agrícolas; contém quatro coeficientes e foi proposto por Henderson para ajustar dados experimentais de adsorção do teor de água de equilíbrio e a atividade de água de produtos individuais em isotermas multicomponentes.

$$X_e = \{ \ln(1 - a_w) / [- a (T + b)] \}^{1/c} \quad (6)$$

em que:

a_w - atividade de água, %

X_e - teor de água de equilíbrio, %

a, b e c – coeficientes do modelo

T - temperatura, °C

2.7.2.3 – Modelo de Oswin

O modelo de Oswin (Equação 7) é empírico e se baseia na expressão matemática para curvas de formato sigmoidal e se ajusta bem entre $0,0 < a_w < 1,0$; com apenas duas constantes, é de fácil linearização, apresentando vantagem sobre os modelos cinéticos de BET e GAB. De acordo com LOUMARO (1985) este modelo ajusta cerca de 57% das isotermas de produtos agrícolas. Esta equação foi usada por BOUQUET et al.(1978)

para trinta e nove produtos e é adequada para alimentos com alto conteúdo de amido, além de ser considerada uma das mais versáteis equações de dois coeficientes testadas.

$$X_e = (a + bT) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/c} \quad (7)$$

em que:

a_w - atividade de água, %

X_e - teor de água de equilíbrio, %

a, b e c – coeficientes de ajuste do modelo

T – temperatura, °C

2.7.2.4 – Modelo de Cavalcanti Mata

A equação de Henderson foi modificada por CAVALCANTI MATA (1997) para feijão mulatinho (Equação 8), quando o autor sugeriu que a correção da temperatura seja na forma potencial, diferente da sugerida por Thompson, que é de ordem linear, chegando este à equação seguinte.

$$X_e = \{\ln(1 - a_w) / [-a(T^b)]\}^{1/c} \quad (8)$$

em que:

a_w - atividade de água, %

a, b e c - coeficientes que dependem da natureza do produto

X_e - teor de água de equilíbrio, %

T - temperatura, °C

2.8 – Secagem

A secagem de produtos agrícolas pode ser definida como um processo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção do teor de água excessivo contido no interior do produto, por meio de evaporação causada, em geral, por convecção forçada de ar aquecido, de modo a permitir a manutenção de sua qualidade durante o armazenamento e em longos períodos de tempo (CORRÊA et al., 2007).

Através da secagem, evita-se o desperdício de alimentos, agregando valor aos produtos agrícolas; importante, também, como recurso, em caso de excesso de produção

(QUEIROZ, 2003). Remover a água dos produtos agrícolas surgiu como forma de conservação, inibindo o crescimento de micro-organismos, além de prevenir grande parte das reações bioquímicas que ocorrem na presença de água. A secagem de produtos perecíveis com altos teores de água apresenta, inicialmente, diversas vantagens, como: manutenção dos constituintes minerais, inibição da ação de micro-organismos e utilização de embalagens mais econômicas (FIOREZE, 2004).

Durante a secagem é necessário o fornecimento de calor para evaporar o teor de água do material e de um sorvedor do teor de água para remover o vapor de água formado na superfície do material a ser secado. Uma vez que o produto é posto em contato com o ar quente, ocorre transferência de calor do ar para o produto, em função da diferença de temperatura; simultaneamente, ocorre uma diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do produto, determinando a transferência de massa de água para o ar (PARK et al., 2007).

Os fatores que influenciam a taxa de secagem com a utilização do ar forçado são, principalmente, a temperatura, o teor de água do ar ambiente, temperatura e fluxo do ar de secagem, teor de água inicial, final e de equilíbrio do produto, temperatura e velocidade do produto no secador ou estufa (BAKKER-ARKEMA et al., 1978). O conhecimento do teor de água do material inicial e final (equilíbrio) da sua relação com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até sua superfície, possibilita fundamentar o fenômeno da secagem (BROD, 2003).

O fenômeno da secagem não pode ser generalizado para materiais biológico, pois possuem características próprias e propriedades que podem sofrer importantes alterações durante a secagem. A eficiência do processo de secagem está relacionada à qualidade do produto final (PARK et al., 2007).

Uma equação empírica é usada com frequência na análise de secagem de produtos agrícolas, análoga à lei do resfriamento (BROOKER et al., 2004); esta equação assume que toda consistência do fluxo de água está concentrada na camada superior dos produtos agrícolas e que a taxa de perda do teor de água do produto para o ambiente a uma temperatura constante, é proporcional à diferença do teor de água da semente e do seu teor de água de equilíbrio; segundo esta teoria, o fenômeno da secagem pode ser demonstrado pela diferencial (Equação 9) seguinte.

$$\frac{dx}{dt} = -K(X_t - X_e) \quad (9)$$

em que:

X_t - teor de água no tempo t

X_e - teor de água de equilíbrio

K - constante de secagem

Por interpretação entre os limites X_0 no início da secagem e X_e com o tempo t qualquer de secagem, tem-se a Equação 10.

$$RX = \frac{(X_t - X_e)}{(X_0 - X_e)} = e^{-Kt^n} \quad (10)$$

em que:

RX - razão de de água em base seca, %

X_t - teor de água no tempo t

X_e - teor de água de equilíbrio

X_0 - teor de água inicial

t - tempo de secagem

K, n – constantes do modelo

2.8.1 - Tipos de secagem

A secagem natural é entendida como aquela em que o ar que promove a secagem do produto provém da ação dos ventos e da energia direta do sol. Esta secagem é a mais utilizada em países subdesenvolvidos ou em vias de desenvolvimento devido à pouca tecnologia a ser empregada e ao baixo custo para sua realização, além do fato de que, nesses países, em determinados períodos do ano as condições climáticas favorecem este tipo de processo (CAVALCANTI MATA, 2006). A secagem artificial é realizada em uma estufa ou secador com circulação de ar, submetendo-se o produto com água à ação de uma corrente de ar, geralmente quente, obtida por uma fonte de energia calorífica, que pode ser realizada a baixas temperaturas usando-se o ar natural levemente aquecido,

e a altas temperaturas nas quais são empregados, usualmente, processos de secagem em camada fixa com fluxo cruzado, fluxo concorrente e fluxo contracorrente.

2.8.2 - Efeitos da temperatura e velocidade do ar de secagem

Segundo DOYMAZ (2007) os produtos são muito diferenciados entre si, devido à sua forma, estrutura e dimensões, além das condições de secagem serem muito diversas, conforme as propriedades do ar de secagem e a forma como se faz o contato ar-produto. Uma vez que o produto é colocado em contato com ar quente, ocorre transferência de calor do ar ao produto, sob efeito da diferença de temperatura existente entre eles; simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de massa para o ar.

A taxa de secagem pode ser acelerada com o aumento da temperatura do ar de secagem e/ou com o aumento do fluxo de ar, que passa pelo produto por unidade de tempo. O fluxo de ar necessário para a secagem depende de vários fatores, dentre eles, o teor de água inicial do produto e a espessura da camada. Várias pesquisas relacionadas à secagem de produtos agrícolas consideram a temperatura do ar de secagem o fator de maior influência na qualidade do produto final (GOUVEIA et al., 2002 e PRADO & SARTORI, 2002).

2.8.3- Secador de Leito Fixo

O secador de leito fixo é caracterizado por apresentar baixo custo e possuir fácil operação. Nesses secadores o produto permanece estático durante a secagem e o ar aquecido é forçado a passar pela massa do produto. Este tipo de secador é constituído de uma câmara de secagem na qual o ar é insuflado por um ventilador. Eles possuem diversas vantagens por serem de configuração bastante simples, resultando num baixo custo de implantação e são bastante versáteis, visto que podem ser utilizados para a secagem de diferentes produtos. No secador de leito fixo o ar de secagem se movimenta da camada inferior para a superfície de massa do produto, formando uma região denominada zona de secagem, na qual ocorre a troca do teor de água entre o produto e o ar de secagem; forma-se, também, um gradiente de água que não pode ser elevado para não comprometer a qualidade do produto.

2.9 - Cinética de Secagem

A remoção de água nos produtos agrícolas se faz necessária para aumentar sua vida de prateleira. Para um produto atingir um teor de água desejado e ser mantido em boas condições de comercialização, é preciso ter conhecimento do teor de água de equilíbrio, a qual é influenciada pela temperatura e teor de umidade relativa do agente de secagem ou pelas condições ambientais às quais o produto é exposto (ALMEIDA et al., 2002).

A análise da cinética de secagem fornece informações sobre o comportamento da transferência de massa entre o produto e o agente de secagem, normalmente o ar atmosférico, o qual é de importância fundamental para o projeto e simulação de secadores. A complexidade dos fenômenos envolvidos no processo durante a secagem leva os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para prever a taxa de secagem (BROD, 2003). Prever teoricamente a taxa de secagem decrescente é mais complexo que a taxa constante, visto que devem ser levados em conta não somente os mecanismos externos de transferência de calor e massa mas também os internos do produto (BROOKER et al., 2004). O período de taxa constante é observado raramente na secagem de materiais biológicos (NOGUEIRA & TÁVORA, 2005).

Conforme AZOUBEL et al. (2005) no caso de produtos com elevado teor de água inicial, como os produtos agrícolas, os modelos de secagem baseados na equação de difusão líquida apresentam, em geral, bons resultados. Na cinética de secagem de produtos agrícolas a temperatura do ar é o parâmetro de maior influência na taxa de secagem (PRADO et al., 2000) e a velocidade do ar de secagem exerce pequeno efeito sobre as curvas de secagem.

Os métodos de cálculo da cinética de secagem são aplicados de modo diferente, dependendo do período de secagem considerado (ALONSO, 2001). No período de taxa de secagem constante as transferências de calor e de massa na interface ar-produto, governam a secagem e fixam a velocidade de secagem. Neste período as equações que definem as transferências de calor e de massa, são estabelecidas fazendo-se referência a uma noção de condutância de superfície, interpretada por um fenômeno de camada limite enquanto no segundo período as transferências internas são limitantes; este

período é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios (FIOREZE, 2004).

As curvas de secagem a taxa decrescente, podem ser côncava, convexa ou aproximar-se de uma linha reta; podem apresentar um ponto de inflexão quando ocorre uma mudança na forma física do material como, por exemplo, quando se produz contração e ruptura e quando se forma uma película na superfície do material parcialmente seco (PARK et al., 2007).

2.9.1 – Secagem em camada fina

De acordo com FIOREZE (2004) em certos processos de secagem o produto é inteiramente envolvido pelo ar de secagem em regime turbulento como, por exemplo, em secagem tipo leito fluidizado, secador de tambor rotativo, secagem de camadas finas etc. Nesses processos, teoricamente toda a superfície de uma partícula isolada é área de troca de calor e massa, não havendo contato físico entre as partículas suficiente para troca de calor por condução, nem troca de massa por difusão entre elas. O estudo em camada fina é o mais empregado para a determinação da cinética de secagem sendo que a temperatura, a umidade relativa e a velocidade, permanecem constantes, ou seja, as condições do fluido de secagem podem ser consideradas não alteradas quando em contato com o sólido. Assim, é possível a determinação de parâmetros de secagem e equações para a taxa de secagem (FERREIRA, 2004). Os resultados obtidos através de estudo em camada fina são indispensáveis na predição das equações de taxa de secagem utilizadas na modelagem dos fenômenos de transferência de calor e massa em leitos de camada espessa.

2.9.2 - Modelos Matemáticos para ajuste das curvas de secagem em camada fina

Na literatura existem vários modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem de produtos agrícolas; entre eles foram usados os modelos de; Henderson, Page, Midilli e Cavalcanti Mata.

2.9.2.1 – Modelo de Henderson

O modelo de HENDERSON & PABIS (Equação 11) é um modelo empírico muito utilizado na determinação das curvas de secagem de produtos agrícolas. Este modelo foi utilizado com êxito por vários pesquisadores, dentre os quais ABALONE et al. (2006) no estudo da secagem em camada fina de amaranto; FARIA et al. (2012) secando sementes de crambe e DOYMAZ et al. (2006) no estudo da secagem do feijão verde, encontraram valores de R^2 superiores a 97%.

$$RX = a \exp(-bt) + c \exp(-dt) \quad (11)$$

em que:

RX - razão de água, adimensional

a,b, c e d – coeficientes do modelo

t – tempo, (min)

2.9.2.2 – Modelo de Page

O modelo empírico de Page (Equação 12) representa, de forma satisfatória, os dados de secagem de produtos agrícolas. É muito utilizado para descrever o comportamento de secagem de uma ampla variedade de materiais biológicos (COELHO et al., 2010).

$$RX = e^{-Kt^n} \quad (12)$$

em que:

RX - razão de água, adimensional

K, n – coeficientes do modelo

t – tempo,(min)

2.9.2.3 – Modelo de Midilli

O modelo semiempírico de MIDILLI (Equação 13) é um modelo bastante utilizado na determinação do comportamento das curvas de secagem. Este modelo é, também, uma simplificação do modelo teórico de Fick, obtido experimentalmente no estudo da secagem de cogumelos, pólen e pistache (MIDILLI et al., 2002). Este modelo

foi utilizado com êxito por vários pesquisadores que obtiveram coeficientes de determinação superiores a 99%, tais como SOUSA et al. (2011) no estudo da secagem do nabo forrageiro e PESSOA et al. (2011) secando grãos de sorgo.

$$RX = a \cdot \exp(-kt^n) + bt \quad (13)$$

em que:

RX– razão de de água, adimensional

a, b, k, n – coeficientes do modelo

t – tempo, (min)

2.9.2.4 – Modelo de Cavalcanti Mata

CAVALCANTI MATA (2006) relata que um entendimento melhor de modelo de Page, pode ser conseguido fazendo-se uma analogia deste com a expressão matemática da lei de resfriamento de Newton (Equação 14). Se t^n é tratado como nova variável de tempo, então k é o fator de proporcionalidade para a taxa de secagem:

$$\frac{dX}{d(t)} = -K(X - X_e)t^n \quad (14)$$

O expoente n pode ser considerado fator modificador da variável tempo, refletindo a resistência interna do produto à secagem para determinadas condições, explicando os gradientes dos teores de água estabelecidos dentro do produto durante a secagem sob a taxa em que ela ocorre. De maneira geral, k reflete o efeito das condições externas e n representa o efeito das mudanças internas ao produto, em função da maneira com que as condições externas são impostas.

A equação de secagem foi modificada por CAVALCANTI MATA (2006) para feijão mulatinho (Equação 15), em que o autor sugeriu que a correção, no tempo fosse também realizada em um segundo termo, acompanhando a Lei de Fick utilizando dois termos da série, com um valor independente a_5 , que deve estabelecer para a condição inicial onde $t = 0$, $RX=1$, portanto, neste caso $a_1 + a_3 + a_5 = 1$. O autor chegou à seguinte equação:

$$RX = a_1 \exp(-bt^{a_2}) + a_3 \cdot \exp(-bt^{a_4}) + a_5 \quad (15)$$

em que:

RX- razão de água, adimensional

a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 e b - coeficientes da equação

t - tempo, (min)

2.9.3 – Secagem em camada espessa

VAN REST & ISAACS (1968) evidenciaram que, em se tratando de teoria de secagem, o estudo da secagem de grãos, em camadas espessas, se fundamenta nas características de secagem de grãos em camadas finas. Os produtos são espalhados uniformemente sobre um piso perfurado, até uma altura que varia de 0,4 a 0,6 m; altura superior poderá causar problemas, tais como: alto gradiente do teor de água e temperatura; exigência de ventilador com maior potência e aumento do tempo de secagem, que acarreta aumento no custo da operação.

Segundo Hukill, citado por BROOKER et al. (2004) as expressões para calcular o teor de água dos produtos e a temperatura do ar durante os processos de secagem em camadas espessas, em função do tempo de secagem e da posição do grão na camada, são dadas pelas Equações 16 a 18, seguintes.

$$M = (M_o - M_e) \frac{e^{c \cdot x}}{e^{c \cdot x} + e^{k \cdot \theta} - 1} + M_e \quad (16)$$

$$T = (T_o - T_g) \frac{e^{k \cdot T}}{e^{c \cdot x} + e^{k \cdot \theta} - 1} + T_g \quad (17)$$

$$c = \frac{k(M_o - M_e)}{p(t_o - t_g)} \quad (18)$$

em que:

M – teor de água do grão no tempo θ , na altura x % base seca

T – temperatura do ar no tempo θ , na altura x , °C

c – constante de resfriamento, m^{-1}

x – espessura da camada

θ – tempo meia vida, h

k – constante de secagem, h^{-1}

e – base dos logaritmos neperianos

ρ – massa específica da matéria seca contida nos grãos, kg.m^{-3}

T_g – temperatura do ar na saída da massa de grãos quando este está em equilíbrio higroscópico com o grão, $^{\circ}\text{C}$

T_o – temperatura inicial do ar de secagem, $^{\circ}\text{C}$

M_o – teor de água do grão % base seca

M_e – teor de água de equilíbrio higroscópico do grão % base seca

BAKKER – ARKEMA et al. (1978) afirmaram que, comumente, os secadores convencionais são avaliados em função de sua capacidade horária sendo que a energia específica raramente é considerada. Informaram, ainda, que os coeficientes avaliados no campo são: a) dos produtos: tipo de produtos, conteúdo de água inicial e final (% b.u), temperatura inicial e final ($^{\circ}\text{C}$), conteúdo de água inicial e final da impureza (%), massa específica aparente inicial e final (kg.m^{-3}), massa do produto úmido (kg) e índices de qualidade; b) do ar: temperatura do ar ambiente ($^{\circ}\text{C}$), temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%); c) do secador: fluxo de ar ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$), volume (m^3), o tempo de secagem (h) ou comprimento da coluna de secagem (m), largura da coluna de secagem (m), pressão estática (mmca), tempo de carga (h) e tempo de descarga (h); d) de energia: ventilador e transportadores (kWh.h^{-1}) e o tipo e quantidade de combustível (kcal.h^{-1}); e) do desempenho: duração do teste ou volume de produto úmido (h ou m^3), água removida (% b.u), consumo específico de energia para secagem, sem energia elétrica e com energia elétrica (kcal.kg^{-1} de água evaporada).

2.9.4 - Modelo matemático para ajuste das curvas de secagem em camada espessa

2.9.4.1 - Modelo de Thompson

O Modelo de THOMPSON et al. (1968) é considerado um modelo semiempírico, que simula o processo de secagem por meio de equações fundamentadas nas leis de transferência de energia e massa, e utiliza uma equação empírica para secagem em camada fina.

Este modelo concebe a camada espessa como constituída de várias camadas finas sobrepostas umas sobre as outras. A cada intervalo de tempo as variações ocorridas no ar de secagem e nos produtos, são calculadas para cada camada. Considerando as trocas

de energia e o teor de água que incidem sobre o ar aquecido e a massa do produto, equaciona-se a secagem para cada camada fina, conforme esquema mostrado na Figura 2.6.

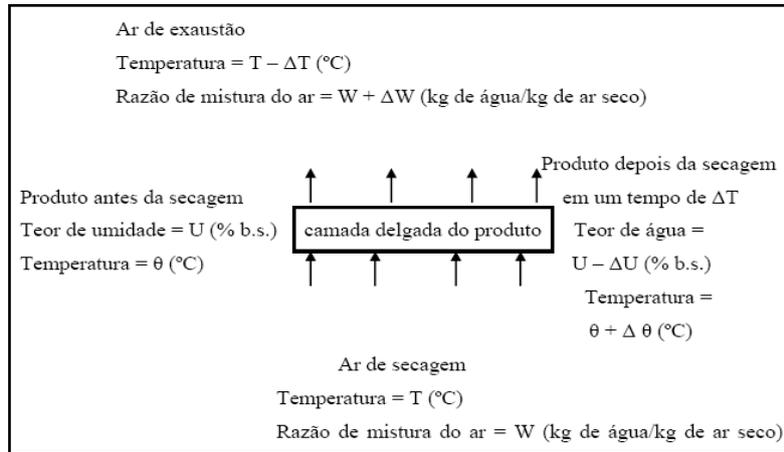


Figura 2.6 – Diagrama esquemático do modelo de Thompson

Para o desenvolvimento do modelo foram feitas as seguintes suposições:

a) secagem em camada delgada - a secagem de uma camada delgada é representada pela Equação 19.

$$t = A \ln(RX) + B [\ln(RX)]^2 \quad (19)$$

em que:

t – temperatura, °C

RX – razão de água, %

A- $a_1 + a_2\theta$

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

a_1 , a_2 , b_1 e b_2 são coeficientes que dependem do produto

A e B, constantes que dependem da temperatura do produto.

b) a temperatura do produto é igual à temperatura do ar que o envolve;

c) teor de água de equilíbrio do produto, para determinada condição do ar de secagem, é dado pela Equação 20, abaixo:

$$X_e = \frac{\ln(1-UR)^{1/N_3}}{N_1(T_e+N_2)} \quad (20)$$

em que:

X_e - teor de água de equilíbrio, %

T_e – temperatura de equilíbrio, °C

UR – umidade relativa, %

N_1, N_2 e N_3 constantes que dependem do produto.

d) o calor latente de vaporização da água no produto é representado pela Equação 21.

$$h_{fg} = (606 - 0,57T)(1 + a_1 \exp(X)) \quad (21)$$

em que:

h_{fg} – calor latente de vaporização, J/kg°C

T – temperatura, °C

X – teor de água, %

a_1 e a_2 são constantes que dependem do produto.

e) o calor específico do produto é expresso pela Equação 22.

$$c_p = (c_1 + c_2 X_{bs}) R_c \quad (22)$$

em que:

c_p – calor específico, J

X_{bs} – teor de água em base seca, %

c_1 e c_2 - são constantes que dependem do produto,

R_c - razão de conversão de unidades, kg de produto/kg de ar seco

sendo:

$$R_c = \rho_p \frac{n}{n'} \frac{v_{esp}}{Q \Delta t 60} \quad (23)$$

f) temperatura de equilíbrio do ar de secagem do produto (Equação 24):

$$T_e = \frac{(0,24+0,45W)T+c_p}{(0,24+0,45W+c_p)} \quad (24)$$

g) quantidade de água removida:

A quantidade de água perdida pelo produto no intervalo de tempo Δt é calculada pela Equação 25, de camada delgada:

$$t_e = F_1 \ln(RX) + F_2 \ln(RX)^2 + \Delta t \quad (25)$$

Aplica-se este tempo equivalente (t_{eq}) na raiz da Equação 26, para obter o teor de água final, depois de o ar ter passado pela camada delgada:

$$X_f = \exp\left(\frac{-F_1 - \sqrt{F_1^2 + 4t_e F_2}}{2F_2}\right)(X_1 - X_e) + X_e \quad (26)$$

Depois do intervalo de tempo Δt , as condições finais do ar serão calculadas pela Equação 27:

$$\Delta W = \frac{(X_i - X_f)R_c}{100} \quad (27)$$

$$W_f = W - \Delta W \quad (28)$$

em que: W_f é razão do teor de água final do ar, depois de ter passado por uma camada de secagem e ΔW é a variação entre a razão de água inicial e final, em kg de água.kg⁻¹ de ar seco.

h) a temperatura final do ar e do produto é dada pela Equação 29:

$$T_f = \frac{(0,24 + 0,45W_o)T_e - \Delta W(587,9 + \Delta h_{fg} - c_w) + c_p}{(0,24 + 0,45W_f + c_p)} \quad (29)$$

i) ponto de estado exequível do ar de secagem:

Depois de cada balanço de calor é necessário determinar se a temperatura e o teor de água absoluta do ar são exequíveis, isto é, se o teor de água relativa do ar determinada matematicamente é inferior a 100%. Se o ponto de estado for inexecuível, é necessário efetuar outro balanço de calor e simular a condensação da água do ar no produto; assim, um balanço de calor entre as condições iniciais e finais para o incremento de tempo, Δt , é escrito conforme a Equação 30:

$$\begin{aligned} [0,24T_o + W_o(1060,8 + 0,45T_o) + c_p\theta_o + (W_f - W_o)(c_w\theta_o)] = \\ = [0,24T_f + W_f(1060,8 + 0,45T_f) + c_pT_f] \end{aligned} \quad (30)$$

Este balanço tem duas incógnitas: T_f , a temperatura final, e W_f , teor de água absoluta do ar de exaustão. Fazendo a interpolação do teor de água relativa em função da relação de temperatura, esta converge para um teor de água relativo de 100% e determina T_f e W_f ; depois de três ou quatro tentativas, obtém-se um teor de água relativa entre 99 e 100%; a água que é removida do ar, é condensada no produto e o teor de água final (X_f) é determinado pela Equação 31:

$$X_f = X_i - \left[\frac{100(W_f - W_o)}{R_c} \right] \quad (31)$$

CAVALCANTI MATA (2006), SOUZA et al. (2002) e LEITE et al. (2005) utilizaram o modelo de Thompson para secagem de produtos biológicos.

2.9.5 - Simulação de secagem

O conceito de simulação está intimamente ligado à noção de modelo, o qual pode ser considerado como sendo o bloco fundamental para se planejar qualquer sistema de simulação, do mais simples ao mais complexo. Pode-se conceituar modelo como sendo um artifício que permite reproduzir, por meio de equações matemáticas, o comportamento de determinado sistema. A dimensão e a complexidade do modelo dependem do grau de detalhe com o qual se deseja realizar o estudo, podendo ir desde um simples trocador de calor até todas as inter-relações existentes em um teor de água de processo completo (SATYRO et al., 1986).

O estudo ou análise de um processo físico, normalmente, passa por uma modelagem matemática capaz de representar ou simular este processo. Vários parâmetros afetam a cinética de secagem de produtos higroscópicos, tais como: coeficiente de difusão, condições ambientais e encolhimento do produto. Evidentemente, quanto maior for o número de parâmetros relevantes incluídos no modelo matemático de um processo, mais próximo estará da situação física real (CARMO, 2004).

O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial, podem ser feitos por simulação matemática. Para a simulação cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas

camadas delgadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que represente satisfatoriamente a perda de água do produto durante o período de secagem (CORRÊA et al., 2007).

O desempenho deve ser analisado para uma larga faixa de condições operacionais. Sendo o trabalho experimental caro, algumas vezes não é possível sua realização, a simulação do processo de secagem através de um modelo matemático é uma valiosa ferramenta para ajudar a prever e otimizar o desempenho de um secador (KHATTAB, 1996).

A simulação é uma ferramenta poderosa pois muitos gastos podem ser poupados. Fazendo-se alguns testes experimentais para validação de um modelo, é possível, numa etapa posterior, realizar simulações de modo a prever, na secagem em camada espessa, quais as melhores condições de operação do secador (CAVALCANTI MATA, 2006).

2.10- Planejamento experimental

A importância das variáveis em um processo pode ser determinada através da adoção de um método de planejamento experimental, que possibilite o planejamento e a execução do experimento, de forma organizada, com um número reduzido de ensaios, ao mínimo necessário. Este método permite, ainda, a verificação dos efeitos individuais e de interação de todas as variáveis sobre a resposta, a definição das variáveis mais importantes para o processo, a avaliação dos erros experimentais e de regressão e a modelagem empírica dos resultados, em função das variáveis escolhidas através de programas estatísticos de regressão.

O método de planejamento experimental fatorial é baseado na seleção de dois níveis (nível +1 e nível -1) para cada variável de entrada (variável independente) e na execução de experimentos para todas as prováveis combinações; se n fatores (variáveis controladas pelo experimentador) estão envolvidos no estudo de um sistema, o planejamento necessita de 2^n fatores diferentes, que é o número mínimo para obtenção de um planejamento fatorial completo.

Diversos são os planejamentos que podem ser usados para montar a série de experimentos adicionais. BOX & WILSON citados por RODRIGUES & LEMMA

(2009) criaram o chamado Planejamento Composto Central, também denominado configuração “estrela”. Tal planejamento consiste de um fatorial completo 2^k , replicatas no ponto central e dois pontos sobre o eixo de cada variável, a uma distância $\pm\alpha$ do ponto central.

Os métodos de planejamento experimental mais conhecidos para otimização de processos são o simplex sequencial, o planejamento fatorial e a análise de superfície de resposta. A metodologia de superfícies de resposta é uma técnica de otimização baseada no emprego de planejamentos fatoriais, introduzidas por G. E. P. BOX no ano de 1951, e que desde então tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais. Esta metodologia é constituída de duas etapas distintas: da modelagem e do deslocamento; ambas são repetidas tantas vezes quantas forem necessárias, até que se atinja uma região ótima (máxima ou mínima) da superfície investigada. Comumente, a modelagem é feita ajustando-se modelos lineares ou quadráticos a resultados experimentais obtidos a partir de planejamentos fatoriais. O deslocamento se dá sempre ao longo do caminho de máxima inclinação de determinado modelo, que é a trajetória na qual a resposta varia de forma mais pronunciada (RODRIGUES & LEMMA, 2009).

Sendo o planejamento experimental um método baseado e executado com técnicas estatísticas, é de fundamental importância a avaliação dos modelos empíricos, obtidos através da regressão dos dados experimentais, mediante uma análise estatística utilizando-se dois parâmetros muito importantes: o coeficiente de determinação (R^2) e o valor estimado para o teste F .

O coeficiente de determinação é um parâmetro estatístico que compara a variância dos pontos experimentais em relação ao modelo proposto, com a variância da própria população de pontos experimentais. Quando o valor do coeficiente é 1, a correlação entre os valores previstos pelo modelo e os valores experimentais, é perfeita. Quando este valor for nulo, não haverá correlação. A análise dos valores intermediários não pode ser expressa de forma tão simples mas em termos qualitativos; quanto mais próximo da unidade estiver o valor do coeficiente de correlação, melhor será o ajuste do modelo com os pontos experimentais (RODRIGUES & LEMMA, 2009).

Através da realização de teste F , comparando o valor estimado para F a partir dos dados experimentais com o valor tabelado para uma distribuição de referência, é possível verificar a relevância estatística dos fatores experimentais no valor das respostas. A base do teste F consiste em verificar se existe relação entre as variáveis e a resposta. Quando não existe correlação entre a resposta e a variável, pode-se demonstrar que a razão entre as médias quadráticas da regressão e dos resíduos (MQ_R/MQ_r) segue uma distribuição F (hipótese nula). Neste caso, a variação nos valores dos resultados foi devida exclusivamente a fatores aleatórios.

A hipótese nula pode ser testada usando-se o valor efetivamente calculado para MQ_R/MQ_r e, para isto, basta compará-lo com o valor de F testado; se as variações nas respostas experimentais apresentarem alta probabilidade de pertencerem a essa distribuição, não há motivos para se questionar a hipótese nula; pode-se dizer, então, que a equação de regressão não é simplificada; se a razão MQ_R/MQ_r for maior que o valor de F tabelado, pode-se afirmar que a equação é estatisticamente significativa e os dados experimentais são representados pelo modelo proposto. A análise dos resíduos é de importância fundamental ao se avaliar a qualidade do ajuste de um modelo. Visto que, se este deixa resíduos consideráveis, poder-se-á dizer que é um modelo ruim (BARROS NETO et al., 2007).

Pode acontecer que uma regressão, embora significativa do ponto de vista do teste F , não seja útil para realizar previsões, em virtude de cobrir uma faixa de variação pequena, dos fatores estudados. RODRIGUES & LEMMA (2009) sugeriram que para que isto não ocorra, isto é, para que uma regressão seja não apenas estatisticamente significativa mas também útil para fins preditivos, o valor da razão MQ_R/MQ_r deve ser, no mínimo, quatro a cinco vezes o valor de F tabelado.

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1 -Localização do experimento

As etapas experimentais deste trabalho foram realizadas nos Laboratórios de: Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); Laboratório de Meios Porosos e Sistema Particulares do Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); Laboratório de Tecnologia de Alimentos do Departamento de Tecnologia Química de Alimentos, da UFPB, Campus I, João Pessoa, PB; Laboratório de Química e Função de Proteínas, no Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Horto Campos dos Goytacazes, RJ.

3.2- Tratamento da Matéria-prima

As etapas do experimento estão representadas no fluxograma abaixo:

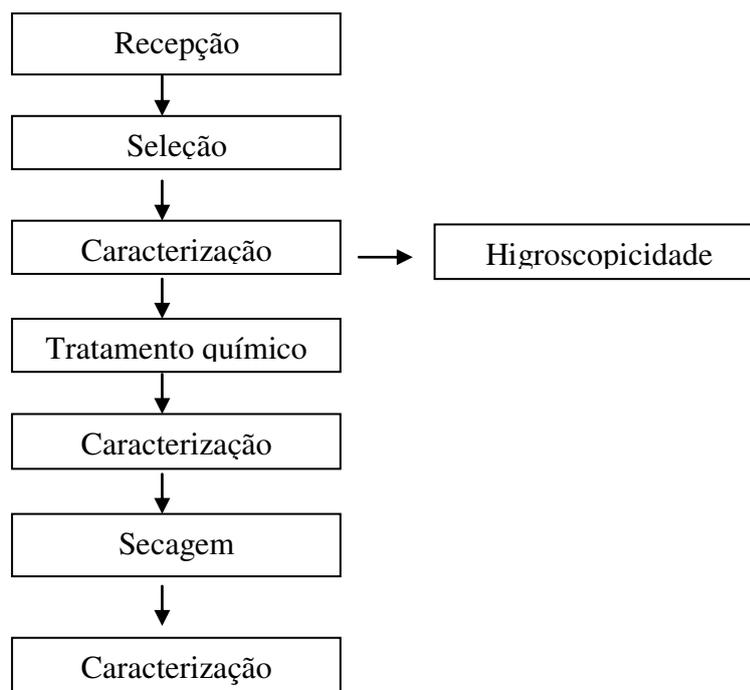


Figura 3.1 – Fluxograma das etapas do experimento

3.2.1 - Recepção da Matéria-prima

A torta de mamona, subproduto da mamona, foi obtida a partir da prensagem das sementes, na Empresa Bom Brasil, localizada em Salvador, BA, armazenada em sacos de nylon e transportada em caminhão até Campina Grande.

3.2.2 - Seleção da Matéria-prima

A torta de mamona foi selecionada com auxílio de uma peneira de metal, com malha de 3,5 mm de diâmetro, com o objetivo de separar materiais do tipo: restos de cultura, sementes, cascas, folhas etc.

3.3 - Caracterização química, físico-química e física da matéria-prima

A torta de mamona “*in natura*” foi caracterizada química, físico-química e fisicamente através das análises dos teores de água, óleo, proteína bruta, carboidratos, ricina, pH, acidez titulável, cinzas, fibras, valor calórico e calor específico, conforme descrito a seguir. Todos esses procedimentos foram realizados em triplicata.

3.3.1- Teor de água

Segundo a metodologia do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008) foi determinado o teor de água da torta de mamona, expresso em porcentagem. Constituiu em se pesar as amostras em recipientes previamente tarados para se obter a massa (m_1); em seguida, a amostra foi levada à estufa sem circulação de ar, a 105°C; 24 horas depois foi levada ao dessecador obtendo-se a massa final (m_2). Com os valores iniciais e finais da massa (m_1) e (m_2), calculou-se a quantidade de água evaporada (Equação 32).

$$X = \frac{(m_1 - t) - (m_2 - t)}{(m_1 - t)} 100 \quad (32)$$

em que:

X - teor de água em base seca, %

m_1 - massa inicial, g

m_2 - massa final, g

t - tara do recipiente, g

3.3.2 - Teor de óleo

A determinação do percentual de óleo da torta de mamona foi através do método AOAC (2005). A extração foi feita em amostras de 25 gramas, pesadas em uma balança analítica e colocadas em cartuchos, por um período de seis horas utilizando-se, como solvente, o hexano p.a. Completando-se a extração, os balões foram colocados em banho-maria para vaporização do hexano e, em seguida, na estufa a 105°C, durante duas horas; após este período, foram colocados no dessecador durante trinta minutos, para o esfriamento, e só então pesados para obtenção do teor de óleo. O cálculo foi realizado utilizando-se a Equação 33.

$$\text{Quantidade de Óleo} = \frac{(m_s - m_b) - m_{br}}{m_A} \cdot 100 \cdot f_x \quad (33)$$

em que:

Quantidade de Óleo, %

m_s - massa seca (massa do óleo + balão), g

m_b - massa do balão (tara do balão), g

m_{br} - massa do balão branco (balão sem amostra, após extração), g

m_A - massa da amostra, g

f_x - fator de água

3.3.3 - Proteína bruta (Pr)

Determinou-se o teor de proteína avaliando-se o nitrogênio total da amostra pelo método de Kjeldahl, com adaptação para N, por espectrometria-VIS, segundo o método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008) através de um espectrômetro "SPECTRONIC 20". A proteína total foi calculada pela multiplicação da porcentagem de nitrogênio total pelo fator de conversão 6,25, conforme a Equação 34.

$$Pr_{sas} = N_{sas} \cdot 6,25 \cdot f_x \quad (34)$$

em que:

Pr_{sas} - Proteína bruta sobre a massa da amostra seca, %

N_{sas} - Nitrogênio sobre a massa da mostra seca, %

f_x - Fator do teor de água

3.3.4– Carboidratos

Obteve-se o teor de carboidrato pela diferença entre 100 e a somatória dos níveis de proteína, óleo, água e cinzas, conforme a Equação 35 abaixo, de acordo com a metodologia descrita pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008).

$$C = Pr + O + X + C_z \quad (35)$$

em que:

C - percentual de carboidratos, %

O - teor de óleo, %

Pr- teor de proteína, %

X - teor de água, %

Cz- teor de cinzas, %

3.3.5 - Ricina

3.3.5.1 – Extração da ricina

Uma amostra de 50g de torta de mamona para extração de ricina, foi colocada em 250 mL de água com HCl, até atingir o pH de 3,8. Esta mistura foi agitada pelo tempo de 6 h e, em seguida, colocada em repouso para decantar e, posteriormente, filtrada. O resíduo foi colocado em 150 mL de água destilada, agitado por 3 h e filtrado no mesmo papel. Este procedimento de lavagem foi repetido três vezes. O filtrado, que contém toda a ricina e porções de ricinina que são solúveis em HCl a frio e diluído, foi concentrado para redução de volume do solvente por destilação a vácuo, em temperatura abaixo de 40°C.

3.3.5.2 – Purificação da ricina

Dissolveu-se o precipitado obtido na extração em água deionizada e se reprecipitou a solução a pH 8, por saturação em sulfato de amônia. Reprecipitou-se mais duas vezes e só então o precipitado foi dissolvido em água deionizada e dializado a 4°C, durante 72h, contra um tampão ajustado a pH 8 usando-se membrana de diálise 110 (HIMEDIA). Nas primeiras 12 h o tampão foi mudado uma vez, a cada 2 horas e,

depois uma vez, a cada 6 h; 72 h depois, o dializado foi centrifugado a 4000 rpm, por 10 minutos, para separar a matéria insolúvel da solução límpida contendo ricina. A solução foi concentrada a vácuo e o volume mantido. A ricina foi estimada como a quantidade de proteína presente no dializado pelo método de LOWRY et al. (1951).

3.3.5.3 – Análise qualitativa e quantitativa da ricina

A metodologia convencional de análise da ricina é a eletroforese capilar com dodecilsulfato de sódio em gel de poliacrilamida (*SDS-PAGE*) (ISHIGURO, TABASHISHI, 1964).

Utilizaram a eletroforese capilar e a espectrometria de massas descrita por NA et al. (2004), com ionização/dessorção da matriz assistida por laser e detector de tempo para caracterizar as subunidades da ricina, ou seja, as duas cadeias de heterodímero. A eletroforese foi realizada com dodecilsulfato de sódio. A *SDS-PAGE* apresentou boa resolução porém costuma gerar uma massa superestimada das subunidades da ricina. A quantificação da ricina na torta de mamona após tratamento, foi feita por espectrometria de massas com ionização do tipo *APCI* (*Atmospheric Pressure Chemical Ionization*).

3.3.6 – Potencial de Hidrogênio (pH)

As medidas de pH foram determinadas pelo método potenciométrico; o potenciômetro foi calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 em temperatura ambiente; em seguida, imergiu-se o eletrodo no becker que continha a amostra, fazendo-se a leitura direta, segundo a metodologia do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008). Os resultados foram expressos em unidades de pH.

3.3.7 – Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada pela quantidade de hidróxido de sódio necessária para neutralizar os ácidos livres de 1 grama da amostra, segundo o INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008). O índice de acidez foi obtido pela Equação 36.

$$\text{Índice de acidez} = \frac{V \cdot f \cdot 5,61}{m} \quad (36)$$

em que:

V- volume da solução de hidróxido de sódio 0,1N, gasto na titulação, em mL

f- fator da solução de hidróxido de sódio

m - massa da amostra, g

3.3.8 – Cinzas

As cinzas foram determinadas por meio da metodologia nº 14006, descrita em AOAC (2005), através da Equação 37.

$$C_z (\%) = \frac{M_{(\text{cadinho} + C_z)} - M_{(\text{cadinho})}}{M_a} \cdot 100 \quad (37)$$

em que:

C_z - teor de cinzas, %

$M_{(\text{cadinho} + C_z)}$ - cinzas, g

$M_{(\text{cadinho})}$ - massa do cadinho, g

M_a - massa da amostra, g

3.3.9 - Fibras

Determinou-se a quantidade de fibras pelo método de hidrólise ácida sob refluxo, seguindo-se a metodologia descrita por VAN SOEST (1994), com os resultados expressos em porcentagem. A base do método é a diferenciação de solubilidade dos componentes da célula vegetal em determinado pH. O método tornou-se amplamente difundido, sendo o principal referencial utilizado pela maioria dos laboratórios de nutrição animal, pois fornece informações suficientes sobre a composição química da maioria dos alimentos.

3.3.10 - Valor calórico (kcal/100g)

O valor calórico foi obtido pelo somatório dos teores de carboidratos e proteínas, multiplicados por quatro, e de lipídeos, multiplicados por nove, Equação 38, de acordo com os coeficientes de Atwater (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

$$\text{Valor calórico} \left(\frac{\text{kcal}}{100} \right) = (\text{Pr total} \cdot 4) + (\text{Carboidrato} \cdot 4) + (\text{óleo} \cdot 9) \quad (38)$$

- 1g de proteína fornece, em média, 4kcal
- 1g de carboidratos fornece, em média, 4kcal
- 1g gordura fornece, em média, 9kcal

3.3.11 - Calor específico

Usou-se, para determinação do calor específico da torta de mamona, o método das misturas (MOHSENIN, 1980) no qual a torta, com massa e temperatura conhecidas, foi colocada em um calorímetro cuja capacidade calorífica foi determinada contendo certa quantidade de água com temperatura conhecida. O calor específico do material foi computado pela equação de balanço de calor entre o calor ganho e o calor perdido pela água do calorímetro e pelo calor perdido ou ganho pelo material. Para essas determinações, foi usado um calorímetro constituído de uma ampola de garrafa térmica convencional, com capacidade para 1000 mL, envolvida por uma camada de fibra de vidro (isolante térmico) colocada no interior de um tubo de PVC. A garrafa foi fechada com uma rolha de borracha dotada de furo, por onde foi introduzida a haste de um termopar com a finalidade de medir a temperatura interna.

Em seguida, estabilizou-se a temperatura no interior do calorímetro adicionando-se água à temperatura ambiente, aproximadamente 26°C, após o que foi determinada a capacidade do calorímetro pesando-se uma massa de água ($m_1=100$ g) em temperatura ambiente (T_1) e se adicionou uma massa de água resfriada ($m_2=100$ g), com temperatura de aproximadamente 2°C (T_2). Homogenizou-se lentamente o calorímetro e se registrou a temperatura T_3 no equilíbrio. A capacidade do calorímetro foi determinada pela Equação 39.

$$c_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{\text{cal}} (T_1 - T_3) = c_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (39)$$

em que:

$c_1 = c_2$ - calor específico da água, cal. g⁻¹ °C⁻¹

m_1 - massa de água a temperatura ambiente, g

m_2 - massa de água refrigerada, g

T_1 - temperatura da água em temperatura ambiente, °C

T_2 - temperatura de equilíbrio do calorímetro, °C

T_3 - temperatura de equilíbrio da mistura, °C

C_{cal} - capacidade calorífica do calorímetro, cal/°C

Conhecidas a capacidade calorífica do calorímetro (C_{cal}) e a temperatura de equilíbrio T_3 , colocou-se uma amostra de torta de mamona com temperatura T_4 no calorímetro, que foi homogenizada por mais 10 min, até que um novo equilíbrio fosse alcançado a uma temperatura T_5 ; o calor específico da torta de mamona foi determinado pelo balanço de energia (Equação 40).

$$m_p C_p (T_4 - T_5) = c_1 m_3 (T_5 - T_3) + C_{cal} (T_5 - T_3) \quad (40)$$

em que:

m_p - massa do produto, g

C_p - calor específico do produto, cal . g⁻¹ °C⁻¹

c_1 - calor específico da água, cal . g⁻¹ °C⁻¹

m_3 - soma das massas $m_1 + m_2$, g

T_3 - temperatura de equilíbrio da mistura, °C

T_4 - temperatura inicial do produto, °C

T_5 - temperatura de equilíbrio da mistura, °C

3.4 – Determinação da higroscopicidade da torta de mamona “*in natura*” nas temperaturas de 15, 25, 35 e 45°C e umidades relativas de 10, 30, 50 70 e 90%

Os teores de água de equilíbrio da torta de mamona foram determinados por meio do método estático, utilizando-se soluções de sais em água destilada para uma faixa de umidade relativa de 10, 30, 50,70 e 90%, de acordo com a metodologia citada por HALL (1980). Realizou-se o experimento nas temperaturas de 15, 25, 35 e 45°C. As soluções de sais foram colocadas em recipientes herméticos contendo três cadinhos com aproximadamente 2g da amostra em cada um, permanecendo em câmara com temperatura controlada, do tipo B.O.D, até atingir o teor de água de equilíbrio; em seguida, as amostras foram colocadas na estufa, a uma temperatura de 105°C, por 24 horas (BRASIL, 2009) para determinar sua massa seca.

Os cálculos dos valores dos teores de água de equilíbrio (Equação 41) foram realizados pela razão entre a diferença entre a massa que as amostras apresentaram no equilíbrio e sua massa seca pela sua massa seca. Por último, foi calculada a média aritmética das três repetições para cada atividade de água.

$$X_e = \frac{m_e - m_1}{m_1} \quad (41)$$

em que:

X_e - teor de água de equilíbrio em base seca, %

m_e - massa da amostra quando atingido o equilíbrio, g

m_1 - massa seca da amostra, g

Para o ajuste das isotermas da torta de mamona foram testados os modelos de Halsey, Henderson, Oswin e Cavalcanti Mata, com a finalidade de encontrar os coeficientes das equações citadas. Os dados experimentais foram submetidos a uma análise de regressão não linear utilizando-se o programa estatístico Statistica 7.0. Os critérios utilizados para a escolha do melhor ajuste foi o coeficiente de determinação (R^2) que explica a relação entre os dados observados e os valores preditos pelo método ajustado (BARROS NETO et al., 2007) e o desvio relativo médio (P), definido como a média da porcentagem da diferença relativa entre valores experimentais e os preditos (LOMAURO et al., 1985), conforme a Equação 42.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - M_{pi})|}{M_i} \quad (42)$$

em que:

P - o desvio percentual médio, %

n – o número de ensaios

M_i - valores preditos pelo modelo;

M_{pi} - valores obtidos experimentalmente.

Com base nesta equação tem-se que os melhores ajustes foram aqueles que apresentaram maior R^2 e menor P, ou seja, R^2 próximo à unidade e P menor que 10%.

3.4.1- Modelos matemáticos para ajuste das isotermas

O ajuste das isotermas de sorção da torta de mamona foi feito utilizando-se o programa computacional Statistica versão 7.0, através de regressão não linear, considerando-se a temperatura e a umidade relativa, como variáveis independentes, para os modelos apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1–Modelos matemáticos utilizados para estimativa do X_e

Nome do modelo	Modelo	Equação
Halsey	$X_e = [\exp(a - bT) / - \ln(a_w)]^{1/C}$	(43)
Henderson modificado por Thompson	$X_e = \{ \ln(1 - a_w) / [- a (T + b)] \}^{1/C}$	(44)
Oswin	$X_e = (a + bT) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/C}$	(45)
Cavalcanti Mata	$X_e = \{ \ln(1 - a_w) / [- a (T^b)] \}^{1/C}$	(46)

3.4.2 - Calor latente de vaporização

A partir dos dados de umidade relativa de equilíbrio, para os teores de água de equilíbrio de 10, 30, 50 70 e 90% e temperaturas de 15, 25, 35 e 45°C, determinaram-se as umidades relativas do ar, a pressão de vapor de saturação, a pressão parcial do vapor de água e o calor latente de vaporização da água pelas equações seguintes:

a) Umidade relativa de equilíbrio

$$UR = 1 - \exp[-K(T+C)(X_e)^N] \quad (47)$$

em que:

UR – umidade relativa, %

K, C e N – coeficientes gerados pelo modelo

T – temperatura, °C

X_e – teor de água de equilíbrio, %

b) Pressão de vapor de saturação (ROSSI, 1987)

$$P_{VS} = R \cdot \exp \left(\frac{A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4}{FT - GT^2} \right) \quad (48)$$

em que:

$$R = 22105649,25;$$

$$A = -27405,526;$$

$$B = 97,5413;$$

$$C = -0,146244;$$

$$D = 0,12558 \times 10^{-3};$$

$$E = -0,48502 \times 10^{-7};$$

$$F = 4,34903;$$

$$G = 0,39381 \times 10^{-2}.$$

c) Pressão de vapor:
$$P_V = UR \cdot P_{VS} \quad (49)$$

d) Calor latente de vaporização da água, determinado através da Equação (21).

Aplicou-se o logaritmo neperiano aos dados da pressão de vapor de saturação e da pressão parcial do vapor de água, traçou-se o gráfico dos valores de $\ln(P_v)$ em função de $\ln(P_{vs})$ e encontrou-se uma reta com coeficiente angular definido para um dado teor de água de equilíbrio e temperatura; multiplicou-se o valor do coeficiente angular da reta (b) pelo calor latente de vaporização da água e obteve-se o calor latente de vaporização da água da torta de mamona em função da temperatura e do teor de água de equilíbrio, conforme a Equação 50.

$$h_{fg'} = h_{fg} x b \quad (50)$$

3.5–Tratamentos da torta de mamona utilizando-se Hidróxido de Cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, em solução aquosa, nas concentrações de 1, 2, 3, 4 e 5%

Fez-se o processo de desintoxicação da torta de mamona à base de hidróxido de cálcio hidratado, nas concentrações 1, 2, 3, 4 e 5%, utilizando-se toneis de plástico com

capacidade para 10 litros. Colocou-se 1kg de torta de mamona em cada tonel, na proporção de 1:7 litros de água, pelo tempo de 12 horas; em seguida, foram feitas a caracterização e a composição química e, logo após, realizou-se a secagem da torta de mamona; finalmente, uma nova caracterização da sua composição química foi determinada.

Esta etapa do experimento foi realizada por meio de um planejamento fatorial 2^2 mais “configuração estrela”, com deslocamento axial (níveis $-\alpha$, -1, 0, +1, $+\alpha$) para ajuste dos modelos quadráticos.

A Tabela 3.2 contém os valores reais e codificados para todos os níveis dos fatores experimentais e a Tabela 3.3, a matriz do planejamento de experimentos.

Tabela 3.2-Valores reais e os níveis dos fatores do planejamento fatorial completo (2^2 +“configuração estrela”)

Variáveis	Níveis				
	-1,4142	-1	0	+1	+1,4142
Temperatura (°C)	50 (52)	60	70	80	(88) 90
Concentração Ca(OH) ₂ (%)	1 (1,2)	2	3	4	(4,8) 5

Tabela 3.3 - Matriz do planejamento dos experimentos em sua forma codificada e real

Ensaio	Temperatura		Concentração de Ca(OH) ₂	
	Codificada	Real (° C)	Codificada	Concentração
01	-1	60	-1	2
02	+1	80	-1	2
03	-1	60	+1	4
04	+1	80	+1	4
05	-1,4142(52)	50	0	3
06	+1,4142(88)	90	0	3
07	0	70	+1,4142 (4,8)	5
08	0	70	-1,4142 (1,2)	1
09	0	70	0	3
10	0	70	0	3
11	0	70	0	3

3.6 – Processo de secagem da torta de mamona em camada fina

A secagem da torta de mamona foi feita nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, após o tratamento com Hidróxido de Cálcio, nas concentrações de 1, 2, 3, 4 e 5%, em um secador, conforme a Figura 3.2, existente no Laboratório de Meios Porosos e Sistema Particulares, do DEQ/UFCG, Campina Grande, PB, conforme o planejamento experimental adotado.

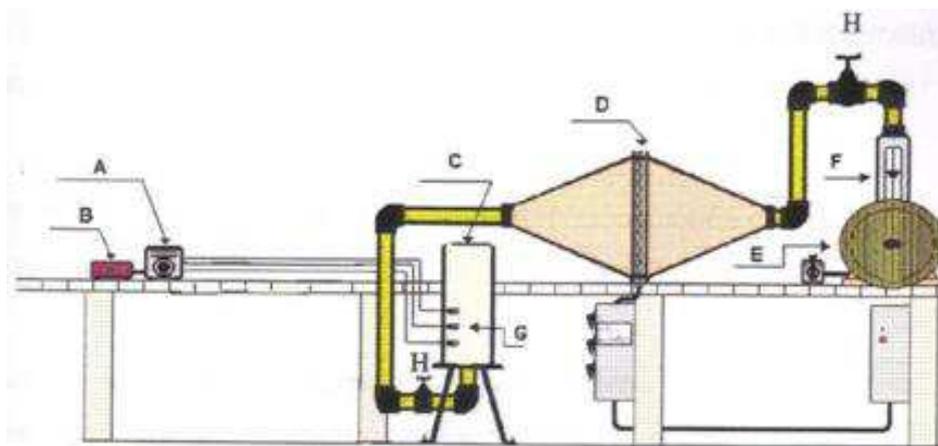


Figura 3.2 – Secador de leito fixo

Fonte: GOUVEIA et al. (2002)

- A – Controlador de temperatura
- B – Milivoltímetro
- C - Câmara de secagem
- D – Aquecedor
- E - Compressor radial
- F – Rotâmetro
- G - Termopares
- H – Válvula

A câmara de secagem é formada de uma coluna cilíndrica de 17,8 cm de diâmetro e 60,0 cm de altura; possui uma seção inferior troncônica, que funciona como distribuidor de ar, onde são colocadas esferas de vidro para permitir que o escoamento do ar seja uniforme em todo o leito; a coluna é isolada termicamente com uma camada de alumínio de 1,5 cm de espessura; nas suas laterais existem furos, nos quais são

colocados os termopares para medição da temperatura do ar de secagem; há, também, um outro termopar colocado na parte inferior, na seção cônica, que serve para enviar sinal para o controlador de temperatura.

Antes do início de cada ensaio o equipamento foi colocado em funcionamento, nas condições experimentais de secagem predefinidas no planejamento experimental. Com o compressor radial ligado, a vazão do ar foi regulada através da válvula reguladora e, com um anemômetro de hélices colocado na saída de secador, mediu-se a velocidade do ar de secagem. O sistema de aquecimento composto por resistências elétricas foi ligado a partir da chave do sistema de controle e, com as resistências ligadas, se ajustaram as temperaturas de secagem através do controlador de temperatura que emitia, para o milivoltímetro, a leitura referente a cada temperatura desejada.

A torta de mamona tratada com hidróxido de cálcio foi secada em camada fina, nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, em bandejas circulares, contendo orifícios com diâmetro de 0,0393 mm para impedir a passagem das partículas. Durante a secagem acompanhou-se a perda de água pesando-se as bandejas em intervalos de 3, 5, 10, 20, 30 e 60 minutos, até atingir massa constante; após a secagem foram feitas as análises química, físico-químicas e física, para quantificar os novos teores de água, óleo, proteína bruta, carboidratos, ricina, pH, acidez, cinzas, fibras, valor calórico e calor específico.

3.6.1 - Modelos matemáticos para as curvas de secagem em camada fina

As curvas de secagem foram obtidas a partir dos valores médios do estudo cinético de secagem, em cinco tratamentos (1, 2, 3, 4 e 5%) e cinco diferentes temperaturas (50, 60, 70, 80 e 90°C). O ajuste das curvas foi feito utilizando-se o programa computacional Statistica versão 7.0, através de regressão não linear, para os modelos apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Modelos matemáticos utilizados para ajuste das curvas de secagem

MODELO	Equação	
Henderson	$RX = a \exp(-b t) + c \exp(-d t)$	(51)
Page	$RX = \exp(-k t^N)$	(52)
Midilli	$RX = a \exp(-k t^n) + b t$	(53)
Cavalcanti Mata	$RX = a_1 \exp(-b t^{a_2}) + a_3 \exp(-b t^{a_4}) + a_5$	(54)

3.6.2 -Curvas de secagem em camada espessa

A secagem da torta de mamona em camada espessa nas temperaturas de 50, 70 e 90°C, foi realizada em um secador de leito fixo, conforme a Figura 3.3, no Laboratório de Meios Porosos e Sistemas Particulares do DEQ/UFCG, Campina Grande, PB. Após tratamento com hidróxido de cálcio nas concentrações de 1, 3 e 5%, a torta de mamona foi colocada em camadas de 20 centímetros, distribuídas em 4 bandejas, cada uma com altura de 5 centímetros, fazendo-se o controle da temperatura com o auxílio de termopares, para o monitoramento da temperatura de secagem em cada camada. Acompanhando-se a perda de água das amostras, foram feitas leituras em intervalos de 15, 30 e 60 minutos, até atingir massa constante.

O modelo matemático de Thompson, conforme descrito nos itens 2.10.4.1, foi utilizado para determinar as curvas de secagem simuladas da torta de mamona em camada espessa.

3.7- Simulação do processo de secagem

Usou-se o programa SASSG_{ANUM} (software aplicado à simulação de secagem de grãos, utilizando-se simulação analítica e numérica) versão 1.0. O programa elaborado contém duas opções: uma opção para simulação de secagem de produtos agrícolas pelo modelo de THOMPSON (1968) e a outra opção de simulação pelo modelo proposto por CAVALCANTI MATA et al. (2003), levando-se em consideração a contração volumétrica da camada espessa.

4.0- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Caracterização da torta de mamona

As caracterizações da torta de mamona “*in natura*” e tratada foram realizadas de acordo com os métodos descritos nos itens 3.4, através das análises dos teores de água, óleo, proteína bruta, carboidratos, ricina, pH, acidez titulável, cinzas, fibras, valor calórico e calor específico. O tratamento de desontoxaçãoda torta de mamona foi realizado por métodos químico, à base de hidróxido de cálcio, e físico, através do processo de secagem.

4.1.1- Caracterização químicas, físico-química e física da torta de mamona “*in natura*”

Tem-se, na Tabela 4.1, os resultados da caracterização química físico-química e física da torta de mamona, “*in natura*” com os respectivos valores médios. O teor de água encontrado na torta de mamona foi 7,91% em base seca. Este valor está em conformidade com os resultados encontrados por BELTRÃO et al. (2003) e CHIERICE & CLARO NETO (2007).

Tabela 4.1 - Caracterização química e físico-química da torta de mamona “*in natura*”

Parâmetro	Média ± desvio padrão
Teor de água,b.u%	7,91 ± 0,06
Óleo,%	3,02 ± 0,04
Proteína, %	26,53 ± 0,06
pH	6,27 ± 0,02
Acidez	2,94 ± 0,01
Cinzas, %	10,49 ± 0,06
Fibra bruta, %	13,02 ± 0,07
Carboidratos, %	52,05 ± 0,12
Energia, kcal/100g	341,49 ± 0,04
Calor específico, kcal/kg°C	0,65 ± 0,01
Ricina, %	1,49 ± 0,01

Verifica-se que o teor de óleo da torta de mamona estudada foi 3,02%, valor superior aos 2,62% obtidos por BELTRÃO et al. (2003) e aos 1,34% encontrado por SEVERINO et al. (2006); e inferior ao valor encontrado por EVANGELISTA et al. (2004), que foi de 3,77% para a torta de mamona. Esta diferença foi ocasionada por diversos fatores, tais como o estado de maturação, variedade da mamoneira, intempéries climáticas e a eficiência do processo mecânico para prensagem das sementes da mamoneira.

O valor médio de proteína bruta da torta de mamona foi 26,53%, equivalente a 96,58% do valor determinado por COSTA et al. (2004) e 2% superior ao valor apresentado por CHIERICE & CLARO NETO (2007), quando estudaram a composição química da torta de mamona e encontraram valores para proteína bruta de 27,47% e 26%, respectivamente. Esta pequena variação pode ser explicada por diversos fatores, tais como estado de maturação, variedade cultivada, clima, solo e a metodologia usada na análise.

Quanto ao pH, o valor determinado para torta da mamona neste trabalho foi 6,27. Este resultado é 2,79% superior ao obtido por ALVES et al. (2012) que, estudando torta de mamona para produção de biogás, observaram pH 6,1.

O resultado médio da acidez total encontrado nesta pesquisa foi de 2,94%, correspondente a 80,5 e 90,7%, respectivamente, dos valores determinados por BELTRÃO et al. (2003), 3,65% e ALBUQUERQUE et al. (2006), 3,24% de acidez para o mesmo tipo de produto. COSTA et al. (2006) quantificaram o teor de acidez em 1,6% estudando as propriedades físicas e físico-químicas do óleo de mamona. Quanto maior o tempo e temperatura de secagem, menor a acidez da torta. Isto ocorre porque a acidez está diretamente ligada à atividade de água, a qual também diminui em função do tempo de secagem.

A fração de cinzas obtida para a torta de mamona foi de 10,49%, valor este próximo ao observado por LACERDA (2013) quando estudaram a caracterização química e físico-química da torta de mamona, relatando valor de cinzas de 10,33%. OLIVEIRA et al. (2010b) determinaram valores de cinzas superiores ao encontrado, 11,63%, estudando torta de mamona tratada com $\text{Ca}(\text{OH})_2$. A variação encontrada foi devida ao teor de óleo presente na torta.

Observou-se que as concentrações de fibra bruta (13,02%) foram inferiores às encontradas por GOMES et al. (2009), quando trabalharam com torta de mamona (19,7%) e semente de pinhão-manso (15,5%) e superiores aos 11,57% observados por LACERDA (2013) para o mesmo produto estudado nesta pesquisa. Estas discrepâncias de valores tem como causa fundamental o teor de óleo presente na torta pois, quanto maior o teor de óleo na torta de mamona menores são os teores de fibras.

A torta de mamona estudada apresentou teor de carboidratos de 52,02%, superior aos 42,0% encontrado por BELTRÃO et al. (2003) e inferior aos 57,9% observados por RIBEIRO et al. (2010), para o mesmo produto. O valor calórico encontrado foi de 341,49 kcal, valor que está de acordo com SEVERINO et al. (2005), para o mesmo tipo de produto. Os teores de carboidratos e de calorias dependem do teor de óleo pois, quanto menor o teor de óleo presente na torta, maiores são estes teores. Quanto ao calor específico, $0,65 \text{ kcal.kg}^{-1}\text{C}^{-1}$, valor este inferior ao divulgado por SEVERINO (2005), que foi $0,71 \text{ kcal.kg}^{-1}\text{C}^{-1}$ para o mesmo produto.

O teor de ricina encontrado na torta de mamona “*in natura*” foi de 1,49%, apenas 0,67% inferior ao resultado divulgado por ANADAN et al. (2005), os quais obtiveram teor de 1,50% para ricina trabalhando com o mesmo tipo de produto. A quantidade de ricina presente na torta de mamona se deve à variedade da espécie cultivada, variando de 1,1 até 4,8%; entretanto, quanto menor a quantidade de ricina presente na torta de mamona maior será sua facilidade de remoção total.

4.1.2- Calor específico

Na Tabela 4.2 são mostradas as variações do calor específico da torta de mamona em função da umidade de 5 a 50 % b.s. Na Figura 4.1 encontram-se os dados experimentais e os obtidos por análise de regressão linear utilizando o programa STATISTICA 7.0. Observa-se um coeficiente de determinação de 95,33%.

Tabela 4.2 – Calor específico da torta de mamona em função dos seus teores de água

Teor de água (%)	Calor específico kcal.kg ⁻¹ .°C ⁻¹
5	0,55
10	0,57
20	0,60
30	0,63
40	0,66
50	0,69

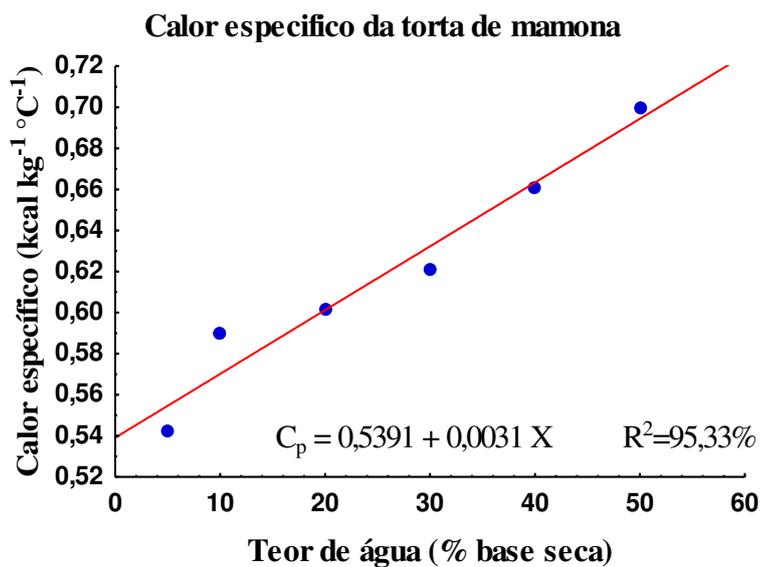


Figura 4.1 – Curva de calor específico da torta de mamona em função do teor de água

Os valores do calor específico da torta de mamona variaram entre 0,55 a 0,69 kcal.kg⁻¹.°C⁻¹ para faixa de teor de água de 5 a 50%. Observa-se que o calor específico cresce linearmente com o aumento do conteúdo de água. Vários pesquisadores estudando o calor específico de produtos agrícolas, observaram este mesmo comportamento, entre eles: CAVALCANTI MATA (1997) estudando sementes de feijão, variedade "carioca", observou que o calor específico do feijão variou linearmente de 0,24 a 0,39. kcal.kg⁻¹.°C⁻¹ para um aumento do teor de umidade de 5 a 45 % base seca; SOUZA et al. (2003), estudando feijão massacar determinaram o calor específico entre 0,36 a 0,67kcal.kg⁻¹.°C⁻¹ para faixa de teor de água de 31,25 a 60,18% (b.u.).

4.1.3 - Caracterização química, físico-química e física da torta de mamona tratada com hidróxido de cálcio

Após a purificação da ricina por filtração em gel nos seis tratamentos com hidróxido de cálcio e leitura espectrofotométrica a 280 nm tem-se, na Figura 4.2, os perfis cromatógrafos da torta de mamona do extrato proteico. Por dosagem da proteína estimou-se o teor de ricina nos tratamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, em que o tratamento um é a torta bruta ou “*in natura*”; os tratamentos dois, três, quatro, cinco e seis são a torta tratada com 1, 2, 3, 4 e 5% de hidróxido de cálcio, respectivamente. Os teores de ricina foram determinados por eletroforese com visualização das duas bandas na frequência 31 kDa e 38 kDa. Observa-se que, quanto maior a concentração de hidróxido de cálcio presente nos tratamentos analisados maior também foi a remoção de ricina, chegando a 0% de toxina.

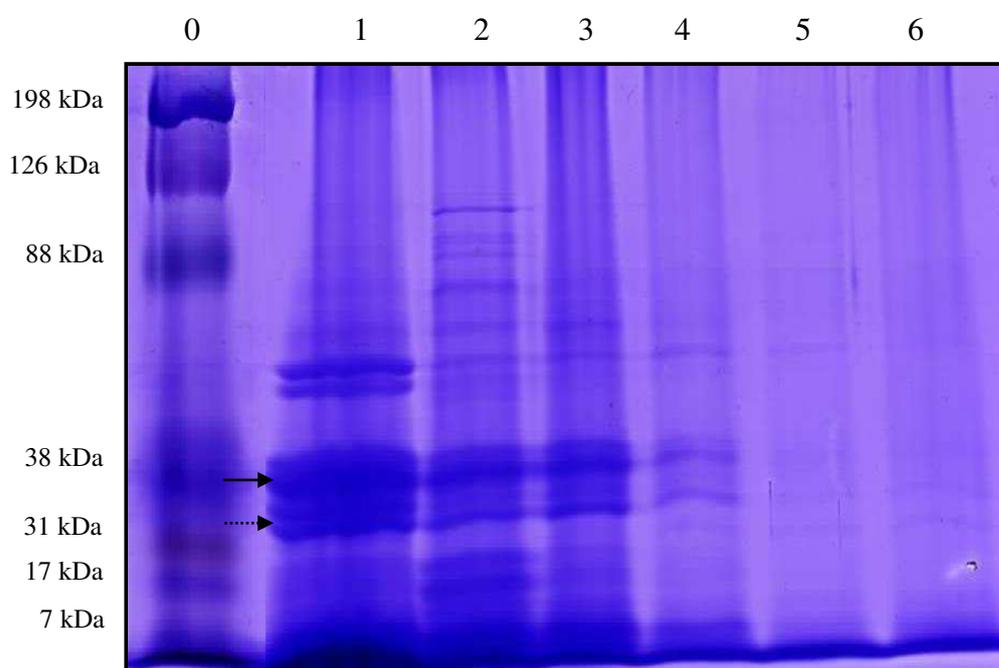


Figura 4.2–Perfis cromatógrafos da torta de mamona tratada

Na Tabela 4.3 se encontram os teores de ricina presentes na torta de mamona “*in natura*” e na torta de mamona tratada com hidróxido de cálcio.

Tabela 4.3 - Teor de ricina da torta de mamona “*in natura*” e tratada com hidróxido de cálcio

	Hidróxido de cálcio (%)	Torta tratada	Torta “ <i>in natura</i> ”	% remoção de ricina
Teor de ricina (%)	2	0,93		37,10
	3	0,76	1,49	48,65
	4	0,32		78,98
	5	0,07		95,28
	6	0,05		96,63

Tem-se, na Tabela 4.3, os teores de ricina analisados quantitativamente. No tratamento um, o percentual de ricina encontrado foi de 1,49% e nos tratamentos 2, 3, 4, 5 e 6, foi de 0,93, 0,76, 0,32, 0,07 e 0,05%, respectivamente. Pode-se observar que o hidróxido de cálcio utilizado como agente desnaturante da torta de mamona promoveu diminuição significativa do teor de ricina, de acordo com o aumento da quantidade de cálcio usado no tratamento, nas duas bandas proteicas. Esta relação entre as reduções das bandas e a atividade tóxica da ricina foi proposta por ANADAN et al. (2005).

4.2 - Isotermas de sorção de água da torta de mamona “*in natura*”

Na Tabela 4.4 tem-se os valores experimentais do teor de água de equilíbrio da torta de mamona, nas umidades relativas de 10, 30, 50, 70 e 90%, e temperaturas de 15,25,35e 45°C. Observa-se que o teor de água de equilíbrio diminuiu com o aumento da temperatura e aumentou com o aumento da umidade relativa, resultado similar ao divulgado por GONELI (2008) ao estudar o comportamento das isotermas de sorção do teor de água da mamona. Observa-se que para as temperaturas de 35 e 45°C a variação do teor de água de equilíbrio é menor em relação ao aumento do teor de água de equilíbrio, nas temperaturas de 15 e 25°C.

Tabela 4.4 - Conteúdo de água de equilíbrio da torta de mamona “*in natura*”

Teor de Umidade relativa (%)	Temperatura (°C)			
	15	25	35	45
	Teor de água de equilíbrio (% base seca)			
10	5,36	4,80	4,04	3,50
30	7,89	6,60	5,32	5,43
50	8,45	8,27	8,09	7,53
70	10,49	10,44	10,39	9,77
90	16,28	16,00	15,87	14,74

Na Tabela 4.5 estão os coeficientes dos modelos Matemáticos de Halsey, Henderson modificado por Thompson, Oswin e Cavalcanti Mata, ajustados aos dados do teor de água de equilíbrio higroscópico da torta de mamona “*in natura*”, nas temperaturas de 15, 25, 35 e 45°C e umidades de equilíbrio de 10, 30, 50, 70 e 90%, bem como seus respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2) e erro médio relativo (P) e na Figura 4.3 se encontram as superfícies de resposta para esses modelos.

Os modelos de Halsey, Henderson modificado por Thompson e Cavalcanti Mata descreveram suficientemente o comportamento das isotermas do teor de água de equilíbrio da torta de mamona “*in natura*” para as umidades relativas e temperatura estudadas, uma vez os valores dos coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 99% e os desvios percentuais médios (P) foram inferiores a 1%. Para AGUERRE et al. (1989) ajustes com desvios percentuais médios inferiores a 10% indicam um ajuste razoável dos modelos, aos dados experimentais, contudo quando eles são inferiores a 1%, pode-se pronunciar que eles são suficientes, implicando em dizer que qualquer uma das três equações representam satisfatoriamente os dados experimentais.

Ainda, observando-se os resultados da Tabela 4.5, pode-se dizer que o Modelo de Oswin não se ajustou tão aos dados experimentais, pois seu coeficiente de determinação foi de 93,40%, embora o desvio percentual médio (P) esteja abaixo de 5%. Portanto, fica evidente que para uma análise mais acurada um só parâmetro estatístico não é suficiente.

Tabela 4.5 -Coeficientes dos modelos de Halsey, Henderson, Oswin e Cavalcanti Mata

Modelos	Coeficientes				
	a	b	c	R ²	P
Halsey	0,7561	0,0042	0,8611	0,9901	0,1981
Henderson	22,7997	3,6451	45,7844	0,9908	0,1831
Oswin	21,5660	0,7269	0,1052	0,9340	3,1041
Cavalcanti Mata	0,7263	0,8214	0,7996	0,9914	0,1704

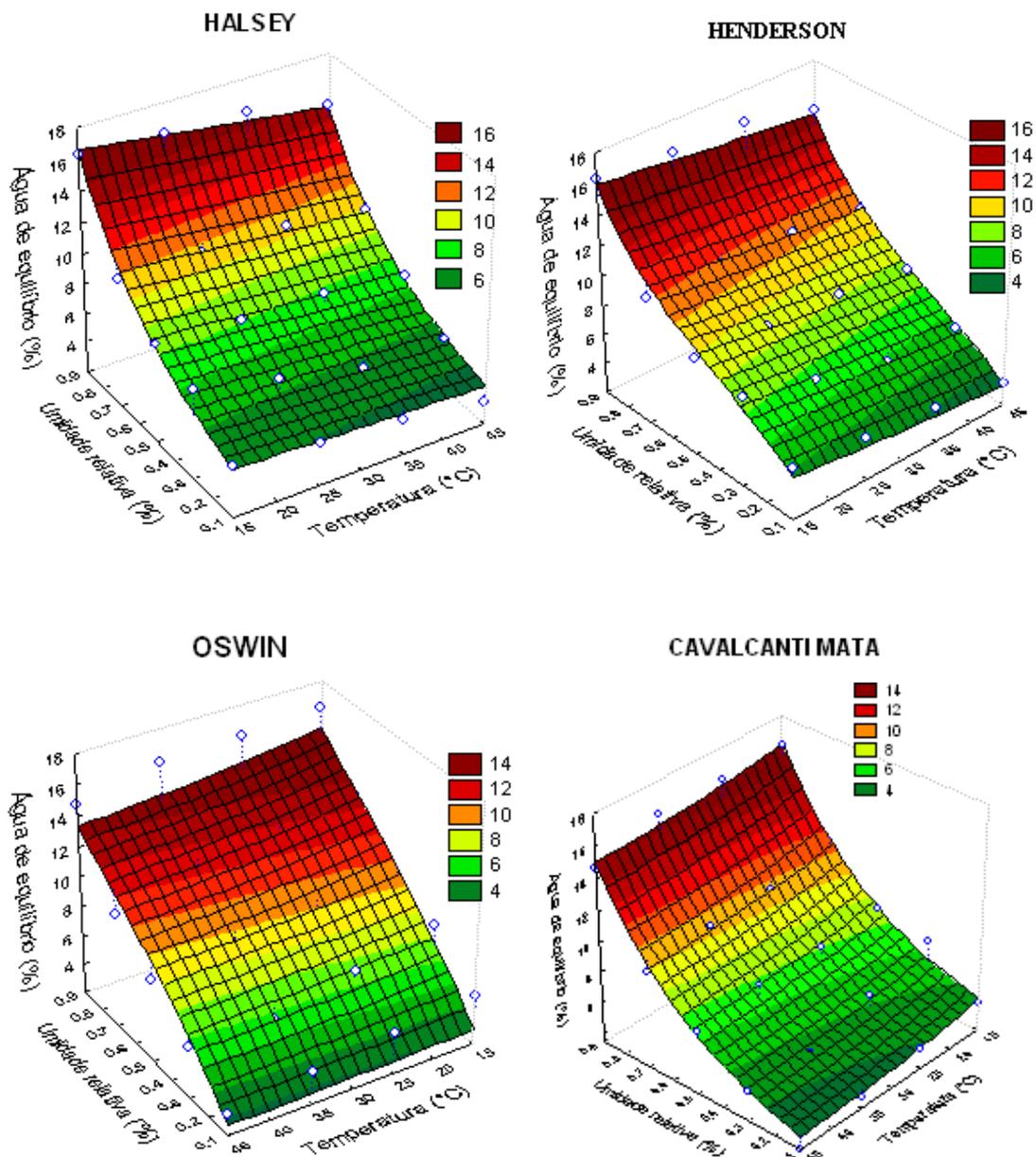


Figura 4.3 –Superfícies de respostas para os teores de água de equilíbrio da torta de mamona relacionando-se a umidade relativa x temperatura, ajustadas aos modelos de Halsey, Henderson, Oswin e Cavalcanti Mata

Verifica-se, na Figura 4.3, que o melhor ajuste foi do modelo de Cavalcanti Mata, devido ao seu maior R^2 e ao menor desvio padrão; sendo o limite máximo permitido para o teor de água da torta de mamona de 16% (b.u), são necessários maiores cuidados ao se armazená-la ou manuseá-la em ambientes com umidade relativa superiores a 70%, nas temperaturas estudadas, haja vista que o alto índice de umidade relativa favorece o desenvolvimento de fungos, micro-organismos e o surgimento de reações químicas e enzimáticas indesejadas. Em caso de armazenamento a torta deve ser acondicionada em embalagens adequadas que impeçam o contato do produto com o ambiente durante o período de armazenamento, impedindo o seu reumedecimento.

4.3 – Calor latente de vaporização

Na Tabela 4.6 tem-se os resultados experimentais para o conteúdo de umidade de equilíbrio higroscópico da torta de mamona nas temperaturas de 15, 25, 35 e 45°C e com as umidades relativas de 10, 30, 50, 70 e 90%,

Tabela 4.6. Valores de umidade de equilíbrio higroscópico para torta de mamona, em função da umidade relativa e das temperaturas.

Umidade relativa (%)	Temperatura (°C)			
	15	25	35	45
	Umidade de equilíbrio higroscópico (X_e)			
10	5,36	4,80	4,04	3,50
30	7,89	6,60	5,32	5,43
50	8,45	8,27	8,09	7,53
70	10,49	10,44	10,39	9,77
90	16,28	16,00	15,87	14,74

Na Figura 4.4 encontra-se a curva de conteúdo de umidade de equilíbrio da torta de mamona em função da temperatura e umidade relativa, gerada através do modelo de Henderson modificado por Thompson a partir dos dados da Tabela 4.6.

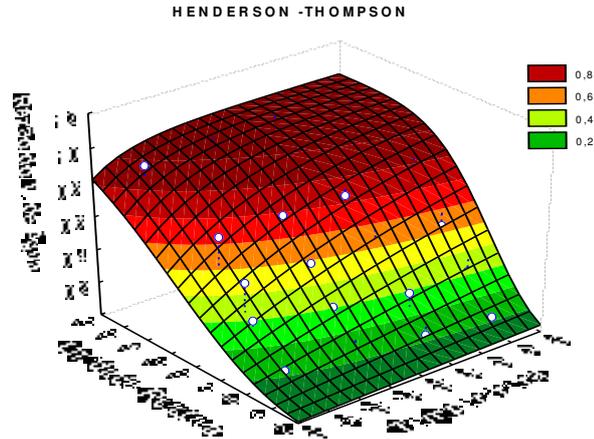


Figura 4.4 – Umidade de equilíbrio da torta de mamona em função das temperaturas e umidades relativas, ajustada pelo modelo de Henderson-Thompson

A partir dos coeficientes obtidos na superfície de resposta, (Figura 4.4), ($K=0,000154$, $N=0,896145$ e $C=2,396899$), utilizando-se a Equação de Henderson modificada por Thompson (Equação 47) foram determinados os valores das umidades relativas de equilíbrio da torta de mamona contidos na Tabela 4.7. Os valores da pressão de vapor saturado encontrados por meio da Equação 48 e os valores da pressão de vapor para cada temperatura estudada e seu respectivo teor de água de equilíbrio, determinados pela Equação 49, estão apresentados na Tabela 4.8.

TABELA 4.7 Umidades relativas de equilíbrio da torta de mamona em função dos conteúdos de umidade e temperaturas preestabelecidas

Umidade relativa (%)	Temperatura (°C)			
	15	25	35	45
	Umidade relativa de equilíbrio (decimal)			
10	0,128	0,157	0,145	0,133
30	0,292	0,307	0,262	0,335
50	0,335	0,468	0,564	0,591
70	0,496	0,668	0,779	0,811
90	0,860	0,954	0,985	0,989

Tabela 4.8 -Valores de Pressão de vaporização da água da torta de mamona em função do teor de água de equilíbrio e da temperatura

	Temperatura °C			
	15	25	35	45
Xe	Pressão de vapor Pv(Pa)			
10	157,58	354,50	572,13	876,22
30	360,09	692,52	1031,24	2211,87
50	412,30	1053,81	2219,34	3900,17
70	610,43	1504,71	3068,08	5357,02
90	1058,45	2147,68	3876,02	6527,92
P_{vs}(Pa)	1231,28	2252,41	3936,80	6603,70

Na Tabela 4.9 encontram-se os valores do logaritmo neperiano dos dados da pressão de vapor e pressão de vaporização da água contidos na Tabela 4.8.

Tabela 4.9 -Valores neperianos da pressão de vaporização da água da torta de mamona em função do teor de água e da temperatura estabelecidos

	Temperatura °C			
	15	25	35	45
Xe	lnPv (Pa)			
10	5,0599	5,8707	6,3494	6,7756
30	5,8863	6,5403	6,9385	7,7016
50	6,0217	6,9602	7,7050	8,2688
70	6,4141	7,3163	8,0288	8,5861
90	6,9645	7,6721	8,2625	8,7838
lnP_{vs}(Pa)	7,1158	7,7197	8,2781	8,7954

Para encontrar os valores dos coeficientes angulares das retas, de acordo com a metodologia de Othmer, foram traçados gráficos dos logaritmos neperianos da pressão de vapor em função da pressão de vaporização de saturação da água, conforme mostrado na Figura 4.5. Os valores dos coeficientes encontram-se na Tabela 4.10.

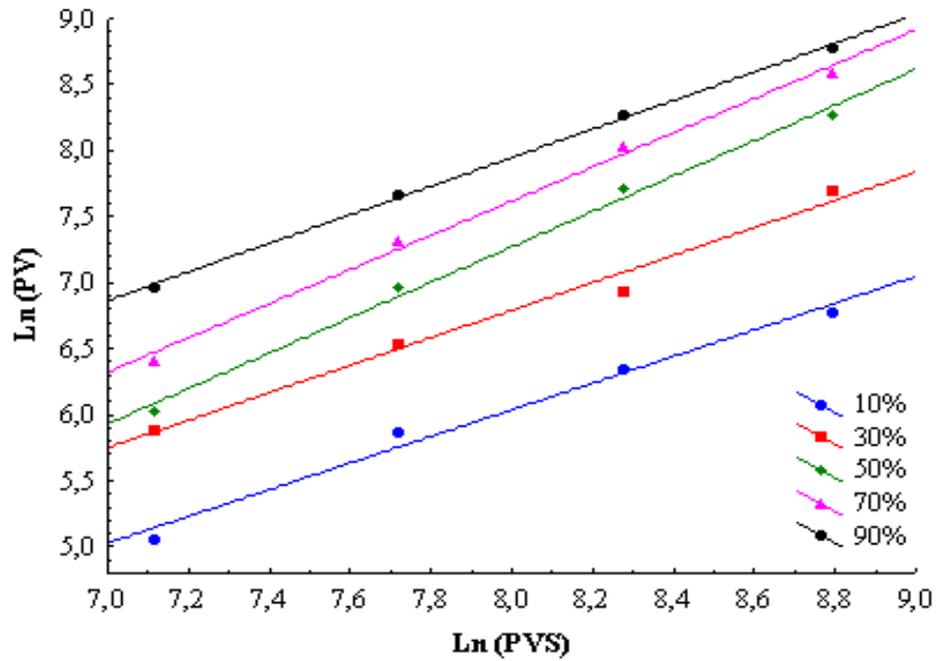


Figura 4.5 – Relação entre $\ln(P_v)$ e $\ln(P_{vs})$ para a torta de mamona com teor médio água de equilíbrio em base seca

Tabela 4.10 – Valores dos coeficientes das retas para determinação do calor latente de vaporização da torta de mamona

UR (%)	a	b	R ² (%)
10	-2,04	1,01	99,7
30	-1,54	1,04	99,5
50	-1,22	1,06	98,4
70	-0,95	1,07	99,6
90	-0,71	1,08	99,8

Na Tabela 4.11 encontram-se os valores do calor latente de vaporização da água e os valores do calor latente de vaporização da água da torta de mamona obtidos por meio das Equações 21 e 50, respectivamente.

Tabela 4.11 - Calor latente de vaporização da água da torta de mamona em função do teor de água e da temperatura estabelecidos

Xe	Temperatura °C				*b
	15	25	35	45	
hfg'(J/kg*K)					
10	1831,66	1807,52	1783,38	1759,24	1,01
30	1886,06	1861,20	1836,35	1811,49	1,04
50	1925,51	1896,99	1871,66	1846,33	1,06
70	1940,47	1914,89	1889,32	1863,75	1,07
90	1962,23	1936,37	1910,51	1884,65	1,08
Hfg(kPa)	1813,52	1789,62	1765,72	1741,82	

*b é a inclinação da reta

Fixando-se uma determinada temperatura, observa-se que o calor latente de vaporização decresce com o aumento do teor de água de equilíbrio. Em relação à temperatura, também ocorre o mesmo fenômeno, conforme dados existente na Tabela 4.11. Os valores encontrados para o calor latente de vaporização mostram que, durante o processo de secagem, o consumo de energia aumenta à medida que o conteúdo de água do produto diminui. Por outro lado, à proporção que o calor latente de vaporização da água do produto se aproxima do calor latente de vaporização da água, o processo de secagem consome menos energia e de forma mais rápida.

Na Figura 4.6 se encontra a superfície de resposta dos valores provenientes dos dados experimentais calor latente de vaporização da torta de mamona.

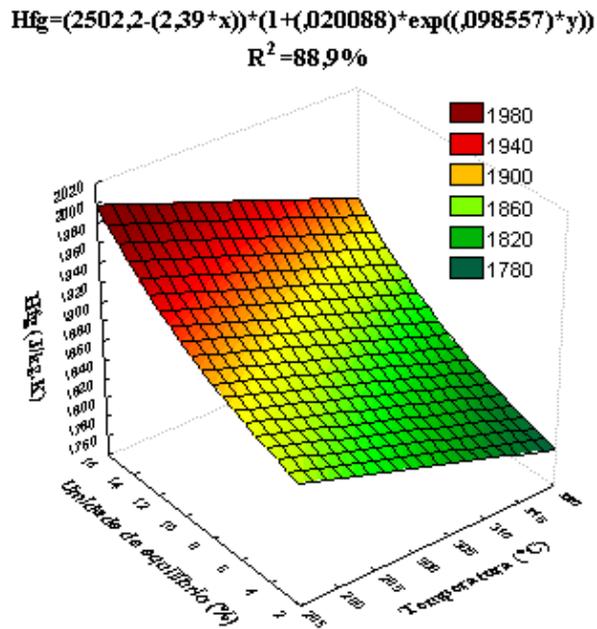


Figura 4.6 – Superfície de resposta do calor latente de vaporização da torta de mamona em função do teor de água de equilíbrio e da temperatura.

4.4 - Cinética de secagem da torta de mamona tratada com hidróxido de cálcio e secada em camada fina

Nas Figuras 4.7 a 4.10 tem-se as curvas de secagem da torta de mamona tratada com hidróxido de cálcio nas concentrações de 1, 2, 3, 4 e 5% e secada em camada fina, nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C e nas Tabelas 4.12 a 4.15 estão os valores dos coeficientes dos modelos de Henderson, Page, Midili e Cavalcanti Mata ajustados a essas curvas de secagem. Nessas tabelas também estão os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios médios (P). Nas Tabelas 1 a 19 (Apêndice A) tem-se as planilhas de secagem da torta de mamona em camada fina, referentes às Figuras 4.7 a 4.10.

Constata-se que as curvas de secagem foram influenciadas pelo aumento da temperatura, com redução gradativa dos tempos de secagem sob o efeito de temperaturas mais elevadas do ar de secagem e que a perda do teor de água é mais rápida no início do processo de secagem.

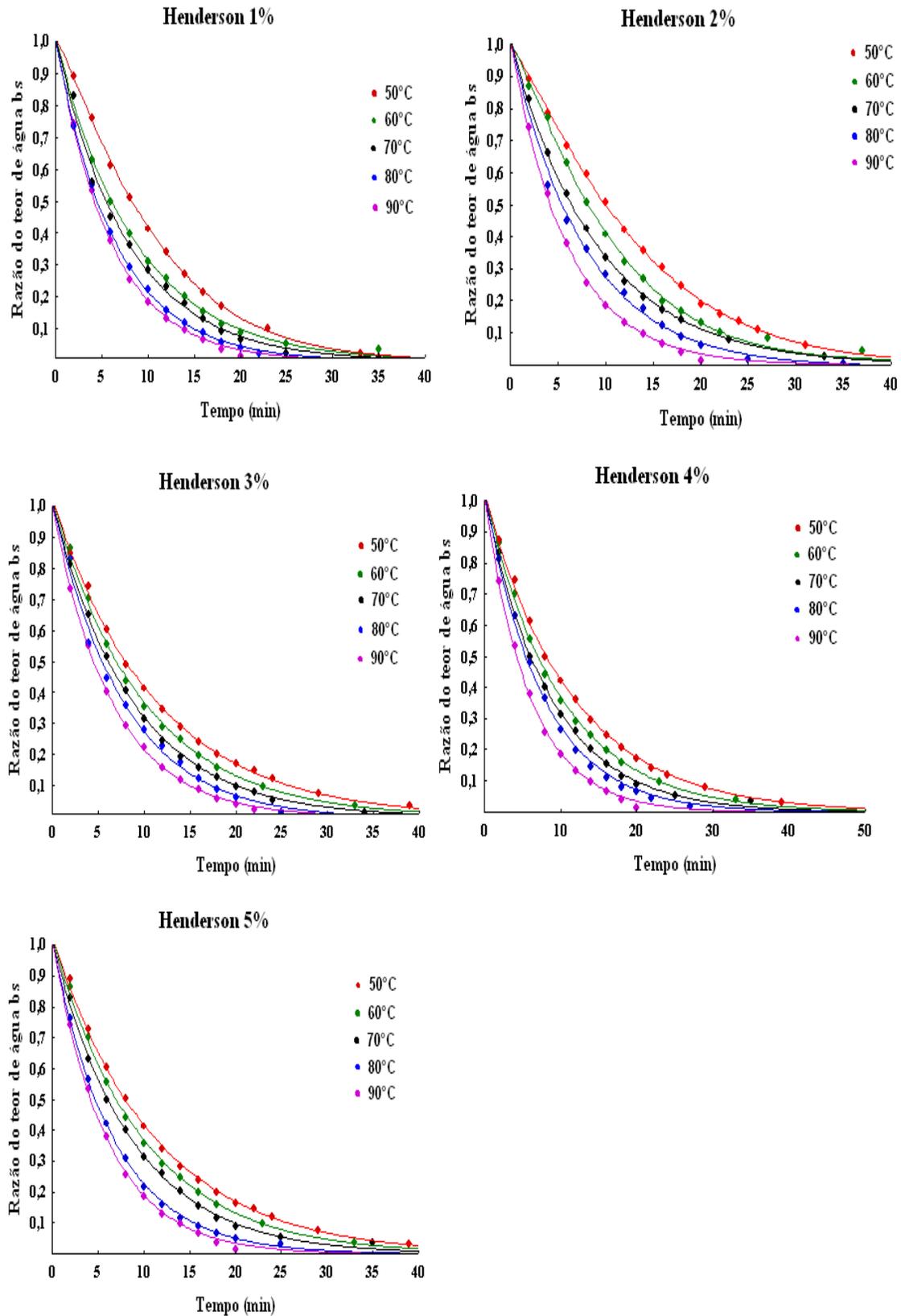


Figura 4.7 – Curvas de secagem da torta de mamona tratada a 1, 2, 3, 4 e 5% com Hidróxido de cálcio, nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, ajustadas pelo modelo de Henderson

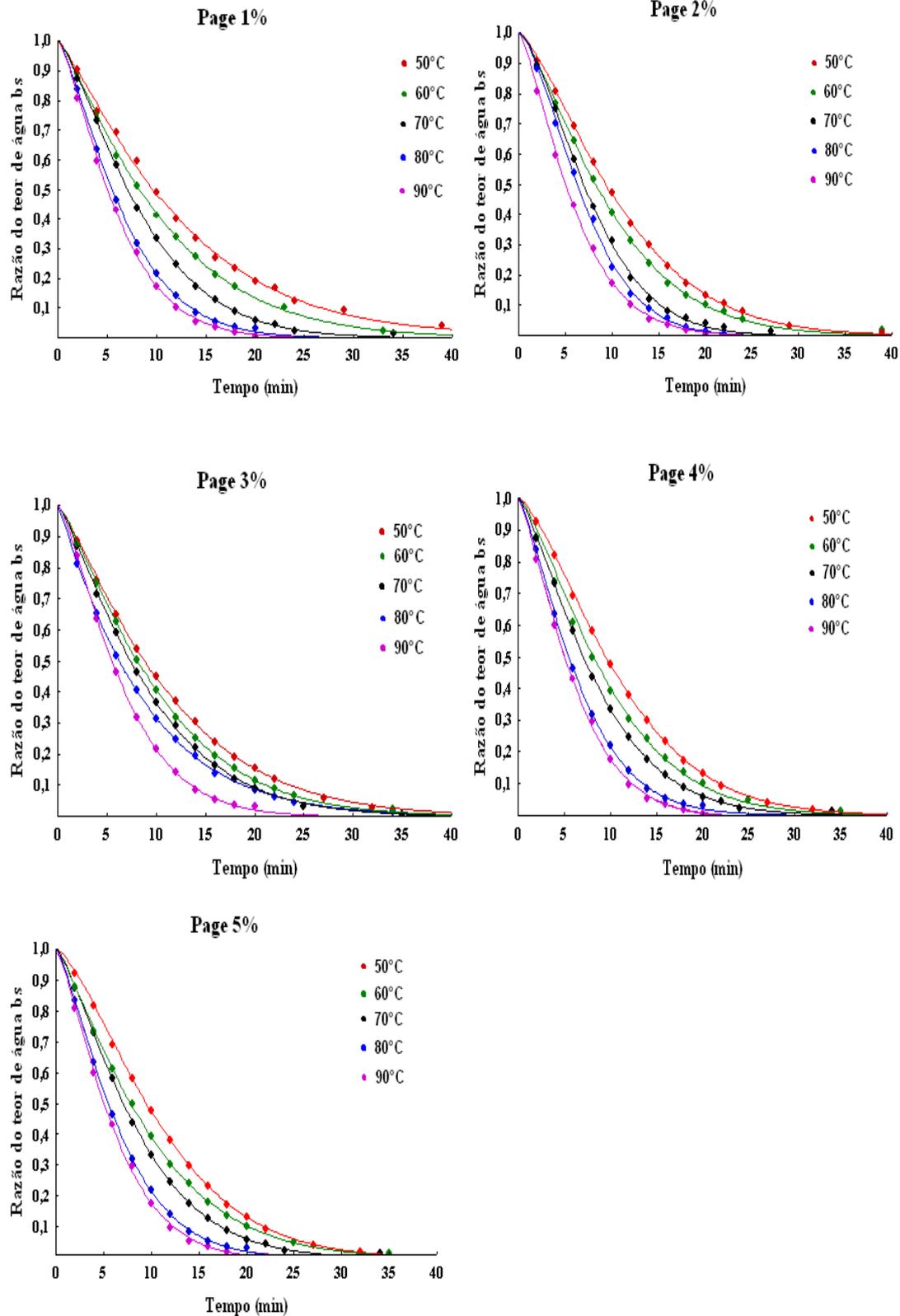


Figura 4.8 – Curvas de secagem da torta de mamona tratada a 1, 2, 3, 4 e 5% com Hidróxido de cálcio, nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, ajustadas pelo modelo de Page

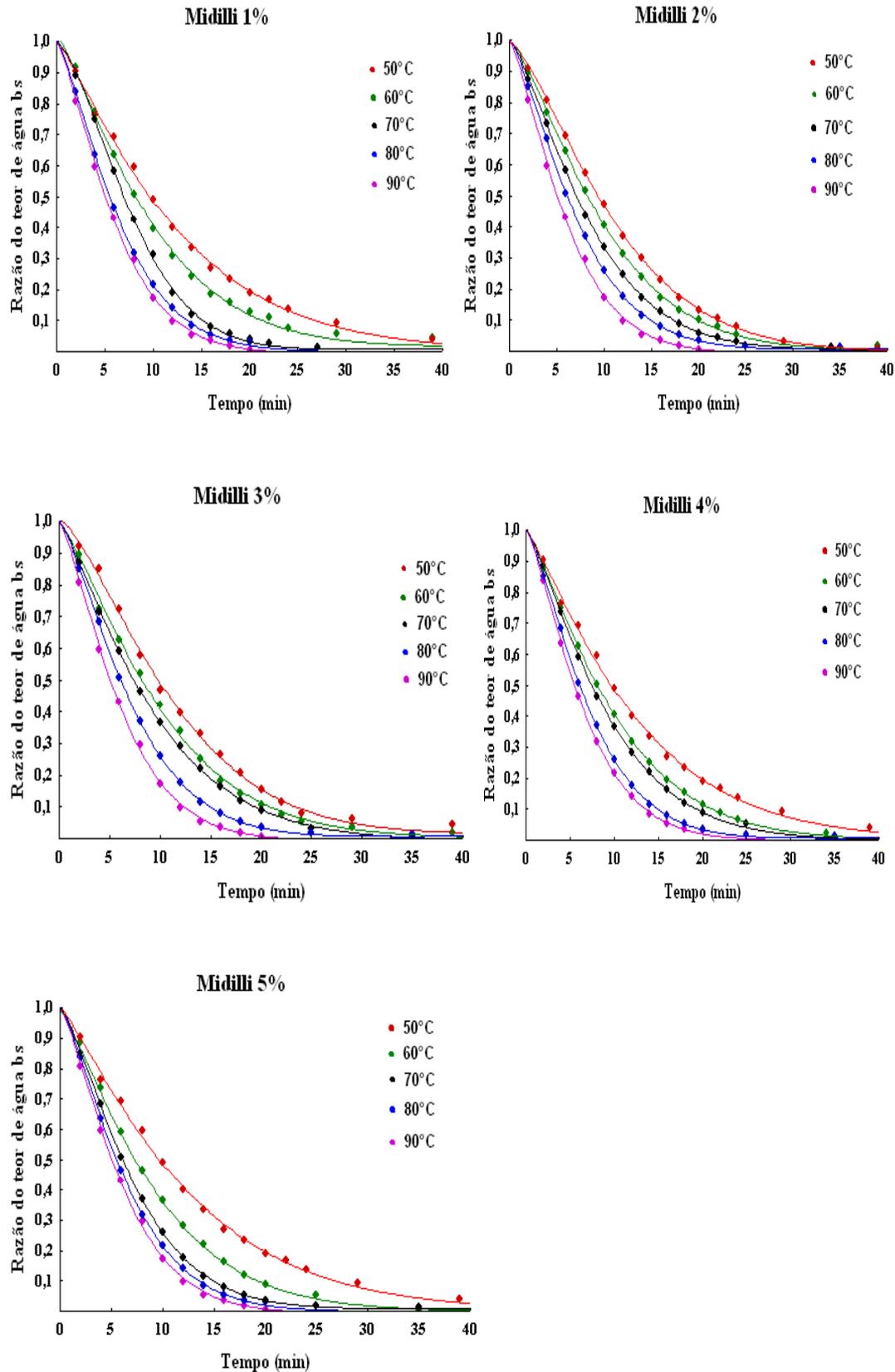


Figura 4.9 – Curvas de secagem da torta de mamona tratada a 1, 2, 3, 4 e 5% com Hidróxido de cálcio, nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, ajustadas pelo modelo de Midilli

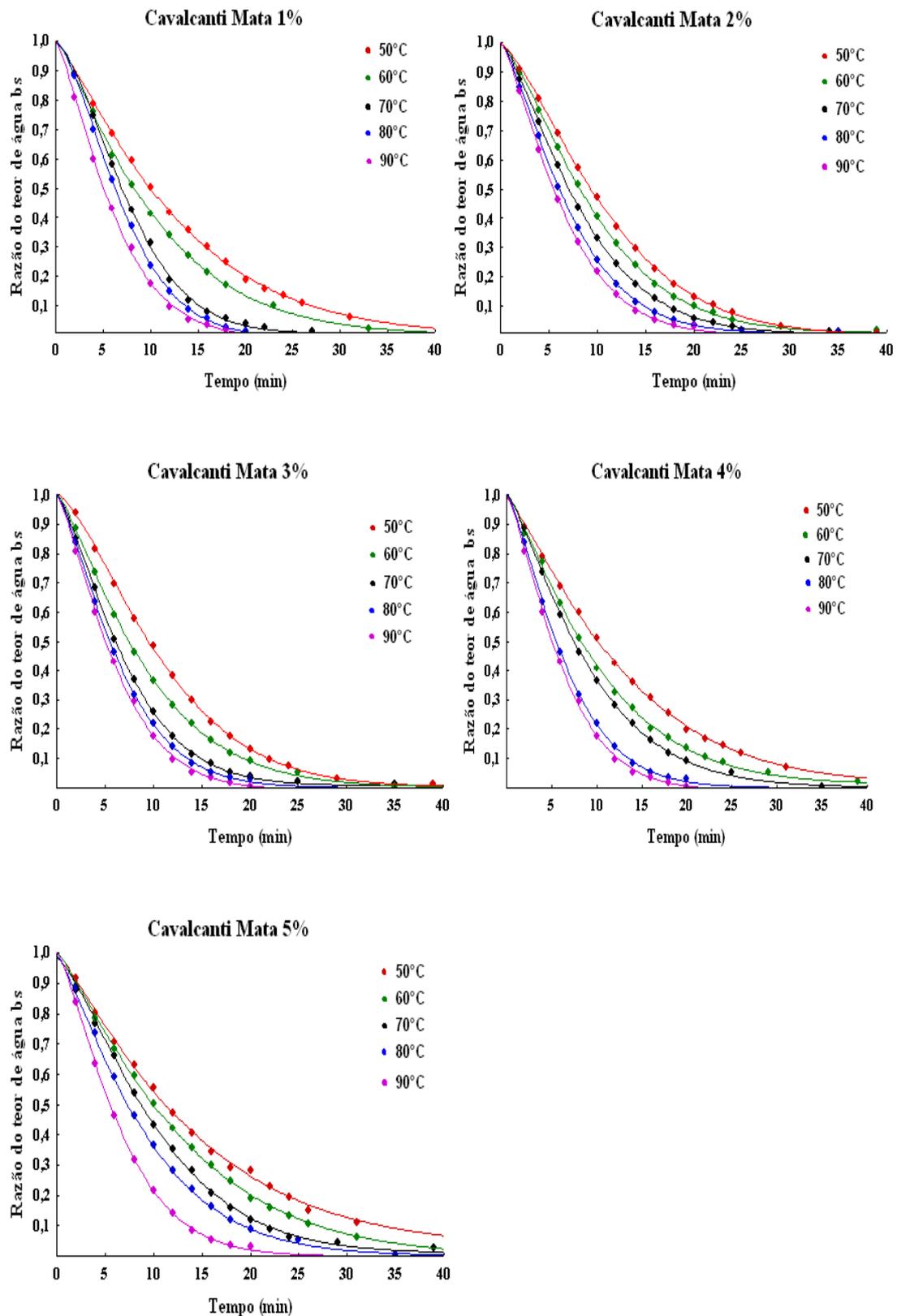


Figura 4.10 – Curvas de secagem da torta de mamona tratada a 1, 2, 3, 4 e 5% com Hidróxido de cálcio, nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, ajustadas pelo modelo de Cavalcanti Mata

Tabela 4.12- Coeficientes do modelo de Henderson ajustados às curvas de secagem emcamada fina da torta de mamona

Modelo	Concentração	Coefficientes				R²	P(%)
Henderson	çãõ (%)	a	b	c	d	(%)	
Temperatura 50°C	1	0,501579	0,153633	0,501579	0,153633	99,956	8,728
	2	0,506801	0,143711	0,506801	0,143711	99,915	10,040
	3	0,505821	0,116260	0,505821	0,116260	99,976	10,003
	4	0,507553	0,108222	0,507553	0,108222	99,960	10,039
	5	0,505950	0,106901	0,505950	0,106901	99,962	10,080
Temperatura 60°C	1	0,506882	0,149634	0,506882	0,149634	99,961	10,090
	2	0,505821	0,116260	0,505821	0,116260	99,976	8,651
	3	0,506633	0,109856	0,506633	0,109856	99,959	9,779
	4	0,502064	0,104573	0,502064	0,104573	99,989	9,835
	5	0,502032	0,098054	0,502032	0,098054	99,989	9,923
Temperatura 70°C	1	0,515927	0,133085	0,515927	0,133085	99,853	8,499
	2	0,508210	0,110222	0,508210	0,110222	99,970	9,485
	3	0,513721	0,102605	0,513721	0,102605	99,921	9,469
	4	0,514348	0,098775	0,514348	0,098775	99,923	4,872
	5	0,507034	0,092966	0,507034	0,092966	99,966	6,299
Temperatura 80°C	1	0,512904	0,090090	0,512904	0,090090	99,932	6,098
	2	0,506626	0,091545	0,506626	0,091545	99,969	5,788
	3	0,502559	0,090367	0,502559	0,090367	99,969	6,992
	4	0,504059	0,093614	0,504059	0,093614	99,983	7,922
	5	0,513288	0,090008	0,513288	0,090008	99,944	5,985
Temperatura 90°C	1	0,509743	0,093832	0,509743	0,093832	99,963	9,000
	2	0,514754	0,090463	0,514754	0,090463	99,926	3,013
	3	0,507626	0,088647	0,507626	0,088647	99,952	5,885
	4	0,513239	0,088303	0,513239	0,088303	99,939	7,168
	5	0,515102	0,088063	0,515102	0,088063	99,925	6,086

Tabela 4.13 - Coeficientes do modelo de Page ajustados às curvas de secagem em camada fina da torta de mamona

Modelo	Concentração	Coeficientes		R²	P(%)
Page	(%)	k	n	(%)	
Temperatura 50°C	1	-0,070424	1,338601	99,993	9,028
	2	-0,060629	1,346484	99,982	9,946
	3	-0,094454	1,087512	99,992	1,577
	4	-0,051420	1,263101	99,990	9,368
	5	-0,053073	1,274618	99,991	9,813
Temperatura 60°C	1	-0,053528	1,210659	99,988	9,982
	2	-0,049027	1,349901	99,990	8,516
	3	-0,056978	1,247351	99,987	7,306
	4	-0,050479	1,252817	99,993	9,705
	5	-0,025920	1,458873	99,995	9,275
Temperatura 70°C	1	-0,038710	1,567405	99,963	6,466
	2	-0,041175	1,289800	99,994	9,928
	3	-0,048447	1,221637	99,985	6,462
	4	-0,037277	1,423532	99,976	7,723
	5	-0,022452	1,549889	99,996	9,720
Temperatura 80°C	1	-0,034612	1,540767	99,963	5,044
	2	-0,030657	1,394643	99,990	8,029
	3	-0,020632	1,551235	99,978	8,778
	4	-0,026408	1,448941	99,987	6,184
	5	-0,019131	1,560497	99,978	4,100
Temperatura 90°C	1	-0,028976	1,423664	99,974	2,283
	2	-0,022094	1,660610	99,960	4,764
	3	-0,019345	1,710539	99,976	7,294
	4	-0,026998	1,442908	99,995	5,847
	5	-0,018095	1,598472	99,974	4,651

Tabela 4.14 -Coeficientes do modelo de Midili ajustados às curvas de secagem emcamada fina da torta de mamona

Modelo	Concentração	Coefficientes				R²	P(%)
Midili	(%)	a	k	n	b	(%)	
Temperatura 50°C	1	1,000083	0,070421	1,338915	0,000018	99,992	8,950
	2	0,997390	0,058827	1,362640	0,000201	99,988	9,939
	3	0,998776	0,094627	1,084533	0,000085	99,993	9,469
	4	0,996188	0,050426	1,268675	0,000038	99,991	8,936
	5	1,003860	0,054148	1,268393	0,000021	99,992	9,708
Temperatura 60°C	1	1,004925	0,055067	1,201475	0,000005	99,989	9,855
	2	0,997333	0,048114	1,358851	0,000143	99,991	8,953
	3	0,996708	0,056548	1,246475	0,000138	99,990	8,698
	4	0,997792	0,049696	1,258716	0,000029	99,993	10,247
	5	0,997303	0,025806	1,456401	0,000150	99,995	6,539
Temperatura 70°C	1	0,996581	0,040364	1,544224	0,000116	99,992	6,009
	2	0,998713	0,041530	1,282619	0,000162	99,996	8,944
	3	0,997343	0,049440	1,205293	0,000363	99,995	9,664
	4	0,996097	0,036214	1,432879	0,000005	99,977	6,454
	5	0,996686	0,021912	1,557775	0,000014	99,996	8,570
Temperatura 80°C	1	0,992511	0,032030	1,576043	0,000251	99,968	8,890
	2	0,993784	0,029326	1,409405	0,000014	99,990	9,949
	3	1,000569	0,019417	1,709461	0,000013	99,977	7,966
	4	0,997036	0,026661	1,444705	0,000089	99,997	5,229
	5	0,987736	0,016309	1,633064	0,000010	99,980	3,737
Temperatura 90°C	1	0,990838	0,027122	1,445186	0,000010	99,977	3,612
	2	0,996233	0,021408	1,672429	0,000016	99,958	7,235
	3	1,001386	0,026545	1,448496	0,000047	99,988	2,924
	4	1,001386	0,026545	1,448496	0,000047	99,988	4,470
	5	0,994693	0,012439	1,883627	0,000028	99,977	6,672

Tabela 4.15 - Coeficientes do modelo de Cavalcanti Mata ajustados às curvas de secagem camada fina da torta de mamona

Modelo	Concent. (%)	Coeficientes					R ² (%)	P(%)	
		a ₁	b	a ₂	a ₃	a ₄			a ₅
C. Mata	1	0,499521	0,070262	1,340772	0,499521	1,340772	0,000923	99,992	4,099
	2	0,494141	0,057865	1,375869	0,494141	1,375869	0,008251	99,990	4,761
	3	0,501393	0,094803	1,081454	0,501393	1,081454	0,003806	99,993	6,278
	4	0,499223	0,050566	1,266373	0,499222	1,266373	0,002086	99,991	5,567
	5	0,500855	0,053911	1,271593	0,500855	1,271593	0,001907	99,992	9,085
Temperatura 50°C	1	0,501459	0,054825	1,204595	0,501459	1,204595	0,001751	99,989	1,941
	2	0,495391	0,047600	1,366955	0,495391	1,366955	0,005998	99,991	6,081
	3	0,501999	0,056949	1,239728	0,501999	1,239728	0,006818	99,991	4,755
	4	0,839073	0,036594	1,405964	0,860005	0,458912	0,699142	99,997	9,122
	5	0,502102	0,026032	1,450320	0,502102	1,450320	0,006544	99,995	6,729
Temperatura 60°C	1	0,503152	0,042044	1,374372	0,503152	1,374372	0,009110	99,993	4,245
	2	0,507299	0,049721	1,196190	0,507299	1,196190	0,016672	99,996	5,859
	3	0,507299	0,049721	1,196190	0,507299	1,196190	0,016672	99,996	5,724
	4	0,495678	0,035695	1,443414	0,495678	1,443414	0,003969	99,978	3,476
	5	0,498779	0,021961	1,556462	0,498779	1,556462	0,000784	99,997	5,265
Temperatura 70°C	1	0,499717	0,040464	1,541890	0,499717	1,541890	0,002764	99,992	5,892
	2	0,491896	0,020975	1,681358	0,491896	1,681358	0,004541	99,958	7,561
	3	0,498128	0,019063	1,720396	0,498128	1,720396	0,003670	99,978	7,066
	4	0,500560	0,026798	1,441113	0,500560	1,441113	0,003871	99,996	3,087
	5	0,494795	0,016438	1,628890	0,494795	1,628890	0,001568	99,981	5,75378
Temperatura 80°C	1	0,496276	0,027278	1,441937	0,496276	1,441937	0,001454	99,977	2,932
	2	0,496128	0,029200	1,411913	0,496128	1,411913	0,001327	99,991	5,412
	3	0,496376	0,019284	1,571504	0,496375	1,571504	0,002027	99,982	5,027
	4	0,498582	0,026249	1,455087	0,498582	1,455087	0,003738	99,988	2,148
	5	0,495941	0,012178	1,906034	0,495941	1,906034	0,010372	99,983	6,542
Temperatura 90°C	1	0,496276	0,027278	1,441937	0,496276	1,441937	0,001454	99,977	2,932
	2	0,496128	0,029200	1,411913	0,496128	1,411913	0,001327	99,991	5,412
	3	0,496376	0,019284	1,571504	0,496375	1,571504	0,002027	99,982	5,027
	4	0,498582	0,026249	1,455087	0,498582	1,455087	0,003738	99,988	2,148
	5	0,495941	0,012178	1,906034	0,495941	1,906034	0,010372	99,983	6,542

Constata-se que todos os modelos podem ser utilizados na estimativa das curvas de secagem, uma vez que apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 99% e os desvios médios são, de uma maneira geral inferiores a 10%. GOUVEIA et al. (2011) ao estudarem a cinética de secagem do feijão preto nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C, constaram que o modelo de Page foi o que se ajustou melhor aos dados experimentais, pois obtiveram coeficientes de determinação R^2 igual ou superior a 99,6%. Neste experimento pode-se dizer que todos os modelos se equivalem, contudo o modelo de Cavalcanti Mata apresenta desvios médios inferiores a 5%, e nos outros 3 modelos, esses desvios são superiores. Este resultado era esperado em razão do referido modelo apresentar o maior número de coeficientes (seis) e, geralmente, quanto maior o número de coeficientes do modelo melhor é o ajuste. No entanto, essa afirmativa pode não ser verdadeira para todos os casos, devendo-se sempre analisar cada caso específico.

O sucesso desses modelos podem ser comprovados em vários estudos como o de SOUSA (2007) que estudou a cinética de secagem de farinha de mamona em estufa, com circulação de ar, nas temperaturas de 50 a 90°C, e constatou que os melhores ajustes foram obtidos com o Modelo de Henderson e Page, com coeficientes de determinação superiores a 98% e desvios quadráticos médios inferiores a 5,03. Pesquisas feitas por MELO et al. (2013) em secagem de fruto do mandacaru nas temperaturas de 70, 80 e 90°C, verificaram que entre os modelos estudados o de Cavalcanti Mata foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, com coeficientes de determinação superiores a 99% e desvios quadráticos médios inferiores a 0,02%. Também LIMA et al. (2008) ao analisar a cinética de secagem de sementes de algaroba com cápsula nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C, constataram que o modelo de Cavalcanti Mata foi o que apresentou os maiores coeficientes de determinação R^2 superior a 99%.

4.5 – Simulação de secagem em camada espessa

Na simulação de secagem da torta de mamona em camada espessa utilizou-se o modelo de THOMPSON (1968) para um secador de leito fixo, implementado no Software SASSG_{ANUM}, o qual utilizou a equação de determinação da umidade de equilíbrio proposta por Cavalcanti Mata, a equação de camada fina, proposta por Page e,

ainda, o calor latente de vaporização e o calor específico, para as temperaturas de 50, 70 e 90°C e concentrações de 1, 3 e 5%.

$$a) \quad t = A. \ln(RX) + B. [\ln(RX)]^2 \quad (19)$$

$$b) \quad X_e = \{\ln(1 - a_w) / [-a(T^b)]\}^{1/c} \quad (8)$$

$$c) \quad RX = e^{-Kt^n} \quad (12)$$

$$d) \quad hgf = (606 - 0,57xT)x(1 + a. \exp(-b.Xe)) \quad (21)$$

$$e) \quad C_p = 0,5391 + 0,0031.X \quad R^2 = 95,33\% \quad (55)$$

A Tabela 4.16 contém os coeficientes K, N e R² da secagem em camada espessa, determinados a partir dos dados experimentais, Apêndice B.

Tabela 4.16 – Coeficientes de secagem da torta em camada espessa, ajustados pelo modelo de Page, nas temperaturas de 50, 70 e 90°C e concentrações de 1, 3 e 5%

T (°C)	Concentração (%)	K	N	R ²
50	1	0,019397	1,563587	99,81%
50	3	0,019639	1,567000	99,79%
50	5	0,019936	1,574522	99,78%
70	1	0,021679	1,551979	99,69%
70	3	0,025743	1,497678	99,55%
70	5	0,047101	1,300942	98,61%
90	1	0,027610	1,510763	99,48%
90	3	0,045954	1,347620	99,59%
90	5	0,088108	1,288288	99,85%

A partir dos dados experimentais de secagem em camada espessa, determinaram-se os coeficientes representativos para as temperaturas e concentrações estudadas, como explícito nas Equações 56 e 57, respectivamente.

$$K=0,1041+(-0,0021T)+(-0,0293C)+(1,3166E-5T^2)+(0,0004TC)(0,0017C^2) \quad (56)$$

$$N=1,8836+(-0,0091T)+(0,0722C)+(6,2743E-5T^2)+(-0,0015TC)+(-0,0014C^2) \quad (57)$$

em que:

T – temperatura de secagem, 50, 70 e 90°C;

C – Concentração de 1, 3 e 5 % de hidróxido de cálcio.

Nas Figuras 4.11 a 4.13 estão apresentadas as curvas de secagem em relação aos valores médios experimentais e simulados da torta de mamona, nas temperaturas de 50, 70 e 90°C e concentrações de 1, 3 e 5% de hidróxido de cálcio. As concentrações não tiveram efeitos significativos sobre os dados experimentais e simulados. As temperaturas influenciaram o comportamento cinético, variando a razão do teor de água em função de cada temperatura estudada, apresentando, portanto, efeitos significativos.

A Figura 4.11 encontra-se o comportamento cinético da secagem referente aos valores médios experimentais e simulados, para a temperatura de 50°C e concentrações de 1, 3 e 5% de hidróxido de cálcio. O tempo total de secagem foi 700 minutos e o teor de água inicial em base seca, foi de 56%.

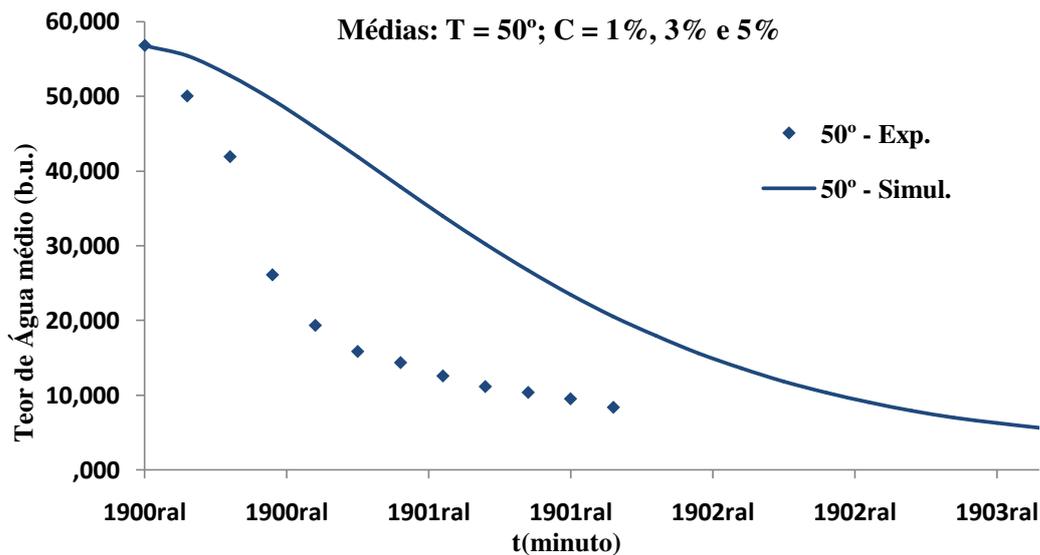


Figura 4.11 – Cinéticas de secagem e dados médios experimentais e simulados, para a temperatura de 50 °C e concentrações de 1, 3 e 5%

Tem-se, na Figura 4.12, o comportamento cinético da secagem referente aos dados médios experimentais e simulados, para a temperatura de 70°C e concentrações

de 1, 3 e 5%. O tempo total de secagem foi 650 minutos e o teor de água inicial em base seca foi de 56%.

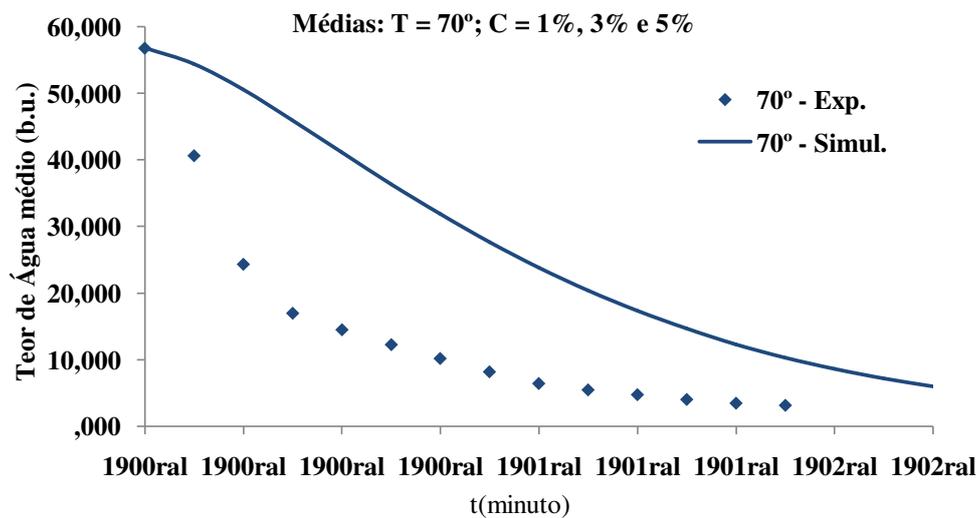


Figura 4.12 – Cinéticas de secagem e dados médios experimentais e simulados para a temperatura de 70°C e concentrações de 1, 3 e 5%

A Figura 4.13 contém o comportamento cinético da secagem referente aos dados médios experimentais e simulados, para a temperatura de 90°C e concentrações de 1, 3 e 5%. O tempo total de secagem foi de 450 minutos e o teor de água inicial de 56%.

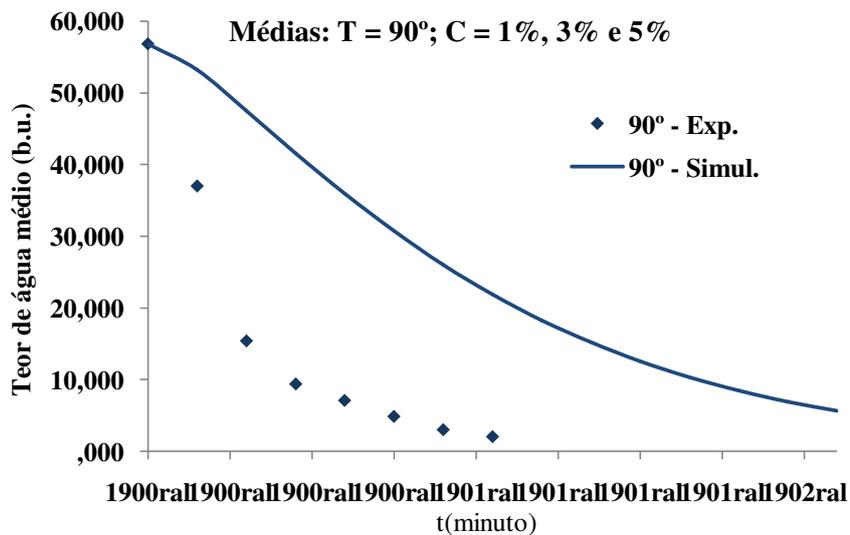


Figura 4.13 – Cinéticas de secagem dos dados médios experimentais e simulados para a temperatura de 90°C e concentrações de 1, 3 e 5%

Como se observa a partir das Figuras 4.11 a 4.13, as cinéticas de secagem obtidas nas simulações, embora tenham convergido para o teor de água final obtido

experimentalmente, extrapolam o tempo final, assim como os teores pontuais. Como se sabe, o modelo utilizado é construído a partir do princípio difusivo tendo-se como base a extração da água interna. A torta de mamona apresenta água superficialmente ocorrendo, assim, disparidades no tempo e comportamento cinético. Verificou-se que a temperatura exerce influência sobre a velocidade de secagem da torta de mamona, sendo o tempo de secagem menor com o aumento da temperatura. Pode-se observar que o ajuste dos modelos avaliados aos dados experimentais não foram satisfatórios. Apesar do ajuste do modelo de Thompson ser satisfatório, R^2 superior a 99% para todas as temperaturas estudadas, constata-se uma falta de ajuste no estágio final do processo de secagem, cujo modelo superestima os valores experimentais de razão do teor de água.

4.6- Respostas do planejamento experimental

A análise dos resultados obtidos para eficiência da desintoxicação da torta de mamona através de tratamento químico com hidróxido de cálcio e secagem nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90°C, foi realizada por meio de métodos estatísticos utilizando-se o software Statistica, versão 7.0, de acordo com o planejamento fatorial 2^2 mais configuração estrela com três pontos centrais, totalizando 11 ensaios. As variáveis independentes estudadas foram concentração e temperatura de secagem e as respostas, variáveis dependentes, foram os teores de água, óleo, proteína, carboidratos, ricina, pH, cinzas, fibras, valor calórico e calor específico.

A análise dos efeitos para cada resposta foi realizada e, quando possível, modelos estatisticamente significativos e preditivos, foram encontrados. Cada resposta foi analisada separadamente e o modelo codificado, gerado. As superfícies de resposta são apresentadas mostrando os prováveis ajustes do modelo, quando não as tendências dos efeitos envolvidos. A fim de gerar as superfícies de resposta para todas as combinações possíveis de duas variáveis, manteve-se uma delas fixa no ponto central, conforme RODRIGUES & LEMMA (2009).

Na Tabela 4.17 encontram-se os valores utilizados no planejamento e os resultados médios experimentais das variáveis de resposta fornecendo um modelo de 2ª ordem com duas interações e intervalo de confiança de 95%.

Tabela 4.17 - Resultado dos ensaios de acordo com o planejamento experimental

Ensaio	Temp. (°C)	Conc. (%)	Água	Óleo	Prot. bruta	Carboi- dratos	Ricina	pH	Cinzas	Fibras	Valor calórico	Calor Específico
1	60	2	4,11	3,03	22,02	56,57	0,396	8,43	11,40	15,49	343,00	0,592
2	60	4	3,65	2,90	20,88	56,80	0,291	10,02	13,14	15,65	332,70	0,568
3	80	2	2,01	2,01	23,11	57,15	0,254	8,06	13,44	18,15	333,40	0,601
4	80	4	1,90	2,50	21,65	52,35	0,284	10,56	13,00	17,68	338,12	0,582
5	50	3	4,98	2,85	21,68	57,31	0,261	9,79	12,68	14,37	336,14	0,586
6	90	3	1,10	2,16	23,63	52,43	0,223	9,42	14,70	17,72	323,64	0,562
7	70	1	3,78	3,00	26,53	52,15	0,334	6,83	11,84	19,80	343,66	0,605
8	70	5	3,82	2,46	22,70	54,89	0,195	10,7	13,62	17,63	331,71	0,591
9	70	3	3,51	2,51	26,75	50,83	0,260	9,23	13,50	18,63	332,93	0,587
10	70	3	2,98	2,87	24,73	52,76	0,255	8,43	13,56	16,12	332,32	0,571
11	70	3	3,25	2,78	25,81	51,20	0,262	9,03	13,62	18,22	331,98	0,573

De acordo com TONON (2009) os efeitos estimados indicam quanto cada fator influencia nas respostas estudadas pois, quanto maior é o seu valor maior também é a sua influência, enquanto um efeito positivo indica que, ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, a resposta aumenta. Um efeito negativo indica o contrário, ou seja, ao passar de um valor mínimo para o valor máximo a resposta diminui. O valor de t indica o quanto é grande a variável em relação ao seu desvio; então, quanto maior o valor de t maior a probabilidade da variável ser estatisticamente significativa. O valor do coeficiente p está relacionado ao nível de significância da variável independente sobre as respostas em estudo; normalmente é escolhido, como intervalo de confiança, o valor de 95%; sendo assim, pode-se afirmar que para valores de p inferiores a 5% a variável é considerada estatisticamente significativa; caso contrário, é tida como não significativa.

4.6.1– Teor de água da torta de mamona após a desintoxicação e secagem

Analisando os valores dos efeitos estimados, observa-se no gráfico de pareto, Figura 4.14, que os fatores temperatura linear e temperatura quadrática influenciaram estatisticamente o teor de água da torta de mamona. O fator linear de temperatura apresentou um efeito negativo, ou seja, com o aumento da temperatura diminui o teor de água. Contudo, o fator quadrático não condiz a realidade de um processo de secagem.

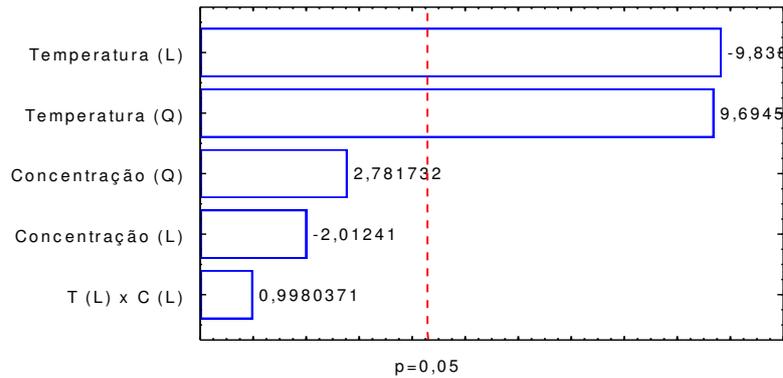


Figura 4.14 – Diagrama de pareto para o teor de água

Após a análise dos efeitos do planejamento fatorial para o teor de água, foi feita a regressão de 2ª ordem dos dados experimentais em função da temperatura de secagem e da concentração de hidróxido de cálcio. Os valores dos coeficientes de regressão estão apresentados na Tabela 4.18. Temperatura linear e temperatura quadrática apresentaram efeito estatístico ao nível de 95% de confiança ($p \leq 5\%$).

Tabela 4.18 – Coeficientes de regressão dos fatores calculados para o teor de água da torta de mamona no planejamento experimental

	Fator	Coefficientes de regressão	Erro padrão	p
	Média	3,06178	0,115655	0,001424
Linear	Temperatura (°C)	-1,12842	0,114618	0,010160
	Concentração (%)	-0,44684	0,160433	0,108357
Quadrático	Temperatura (°C)	0,01103	0,001137	0,010473
	Concentração (%)	0,00441	0,001586	0,108586
Interação	TxC	0,00005	0,000045	0,423406

Desconsiderando os fatores não significativos estatisticamente foi realizada nova análise de regressão. Contudo, como o fator quadrático não representa a realidade de um processo de secagem, o mesmo foi desconsiderado, sendo o modelo matemático representado pela seguinte equação:

$$X = 3,20 - 1,13T \quad (58)$$

em que:

X – teor de água, %

T – temperatura de secagem, °C

Após a análise de regressão foi realizada Análise de Variância (Tabela 4.19) para validação do modelo matemático.

Tabela 4.19 - ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de água

Fatores	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R ² (%)
Regressão	10,87	2	3,44	25,41	4,46	86,4
Resíduos	1,71	8	0,21			
F de ajuste	1,57	6	0,26			
Erro puro	0,14	2	0,07			
Total	12,58	10				

A análise de variância mostrou que o modelo é válido, uma vez que a razão de $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} foi igual a 5,70 e o valor de R^2 foi 86,4%. Desta forma pode-se estabelecer a superfície de resposta linear (Figura 4.15).

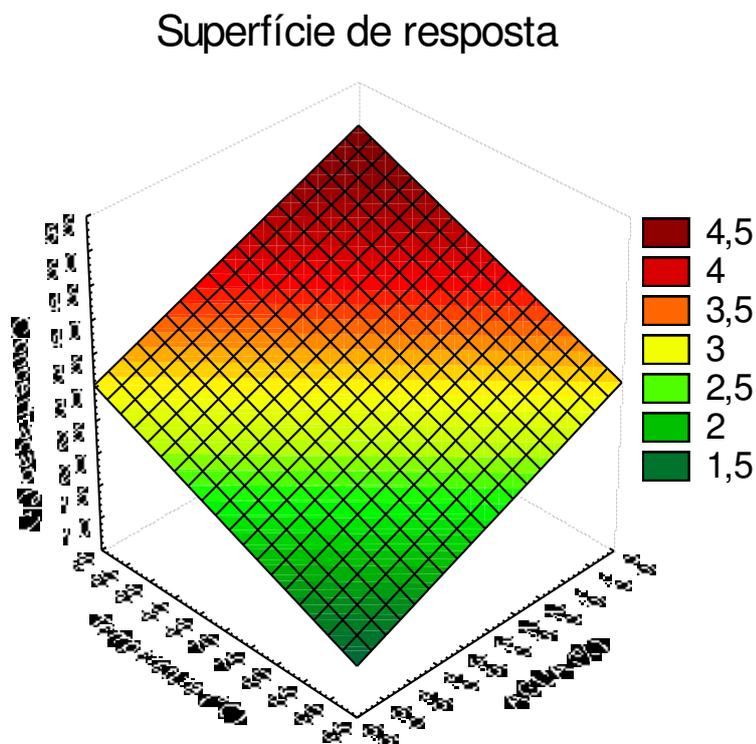


Figura 4.15–Superfície de resposta para variação do teor de água da torta tratada em função da temperatura e da concentração

4.6.2 – Teor de óleo da torta de mamona após a desintoxicação e secagem

Analisando os efeitos principais, pode-se observar, no gráfico de pareto, Figura 4.16, que os fatores temperatura linear e quadrática influenciaram no teor de óleo da torta de mamona. O fator temperatura linear apresentou efeito negativo, o que significa que com aumento da temperatura ocorre redução do teor de óleo, no processo de desintoxicação e secagem ao nível de 95% de confiança ($p \leq 5\%$). O fator quadrático com sinal positivo indica uma região de mínimo.

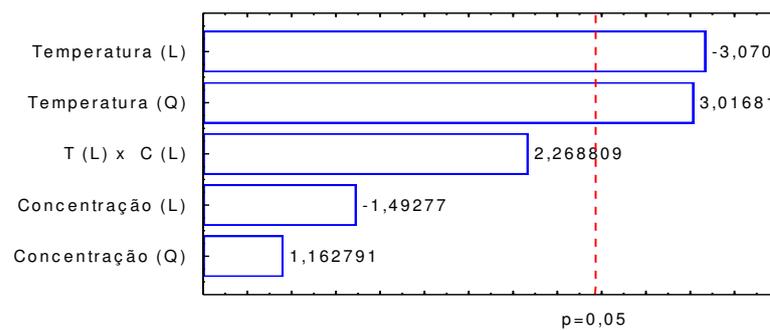


Figura 4.16 – Diagrama de pareto para o teor de óleo

Através dos dados obtidos pelo planejamento fatorial do teor de óleo, fez-se a regressão de 2ª ordem desses dados experimentais em função da temperatura de secagem e da concentração de hidróxido de cálcio, gerando o modelo empírico (Equação 59).

Estão apresentados na Tabela 4.20 os coeficientes de regressão obtidos a partir dos dados experimentais do teor de óleo em função da concentração de hidróxido de cálcio e da temperatura durante o processo de desintoxicação e secagem da torta de mamona.

Tabela 4.20–Coeficientes de regressão para o teor de óleo da torta de mamona no planejamento experimental

	Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	P
	Média	2,652065	0,088374	0,000001
Linear	Temperatura (°C)	-0,272487	0,087582	0,026514
	Concentração (%)	-0,144113	0,122590	0,292692
Quadrático	Temperatura (°C)	0,002622	0,000869	0,029524
	Concentração (%)	0,001409	0,001212	0,297389
Interação	TxC	0,000079	0,000035	0,072547

Após desconsiderar os efeitos não significativos estatisticamente, o modelo matemático para o teor de óleos é representado pela seguinte equação:

$$O=2,70 - 0,267T + 0,0025 T^2 \quad (59)$$

em que:

O – teor de óleo, %

T – temperatura de secagem, °C

Verificam-se, na análise de variância da Tabela 4.21, a significância da regressão no nível de 95% de confiança com $p \leq 5\%$, pelo teste F. O $F_{\text{calculado}}$ foi maior que o F_{tabelado} e o valor de razão foi de 1,58 para o nível de 95% de confiança, sendo (R^2) igual a 63,8% considerado baixo. Assim, o modelo de segunda ordem e superfície de resposta (Figura 4.17) podem ser utilizados apenas para fins de estudo de tendência do teor de óleo em relação à temperatura de secagem e concentração de hidróxido de cálcio.

Tabela 4.21 - ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de óleo

	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R^2 (%)
Regressão	0,74	2	0,374492	7,07	4,46	63,85
Resíduo	0,42	8	0,05			
Falta de ajuste	0,35	6	0,06			
Erro puro	0,07	2	0,04			
Total	1,162	10				

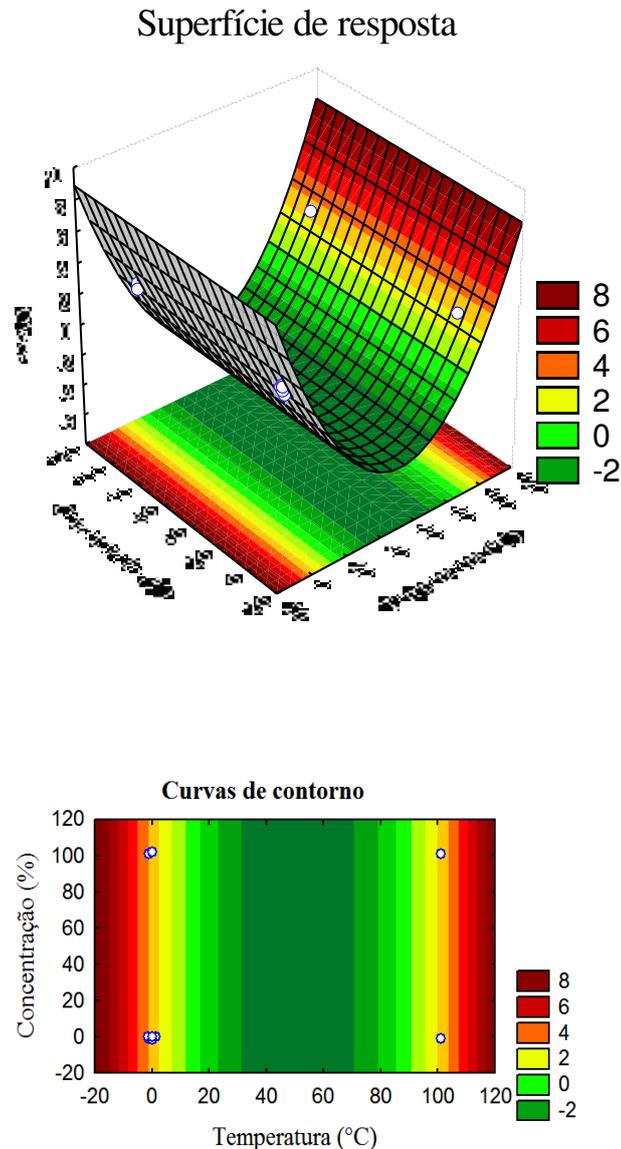


Figura 4.17–Superfície de resposta e curvas de contorno para variação do teor de óleo da torta tratada em função da temperatura e da concentração

4.6.3 – Teor de proteína bruta da torta de mamona após desintoxicação e secagem

Analisando-se os efeitos principais no gráfico de pareto, Figura 4.18, verifica-se que não houve efeito significativo lineares, quadráticos ou da interação das temperaturas e concentração de hidróxido de cálcio sobre o teor de proteína da torta de mamona ao nível de 95% de confiança, cujos valores de p encontram-se superiores a 0,05.

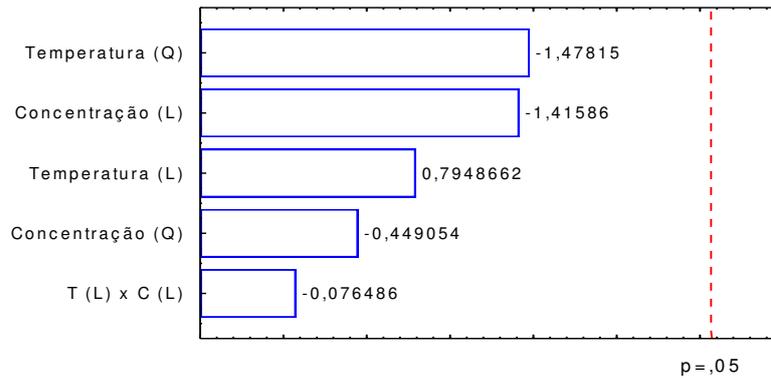


Figura 4.18 – Diagrama de Pareto para o teor de proteína

Os efeitos não significativos ($R^2 = 55,14$) a 95% de confiança da concentração de hidróxido de cálcio e da temperatura sobre o teor de proteína bruta, durante o processo de desintoxicação e secagem da torta de mamona, se encontram na Tabela 4.22 (Análise de Regressão).

Tabela 4.22–Coeficientes de regressão para o teor de proteína bruta da torta de mamona no planejamento experimental

	Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	P
	Média	24,41867	0,441123	0,000326
Linear	Temperatura (°C)	1,17683	0,437170	0,114731
	Concentração (%)	-0,59677	0,611913	0,432294
Quadrático	Temperatura (°C)	-0,01184	0,004338	0,112130
	Concentração (%)	0,00568	0,006050	0,446770
Interação	T(L) x C(L)	0,00014	0,000173	0,501531

Pode-se perceber que para o nível de confiança estudado não foi possível obter modelo matemático para representar os dados.

4.6.4 – Teor de carboidratos da torta de mamona após desintoxicação e secagem

Na análise dos efeitos principais pode-se verificar na Figura 4.19, que os parâmetros lineares e quadráticos da temperatura tiveram efeitos significativos sobre o teor de carboidratos da torta de mamona.

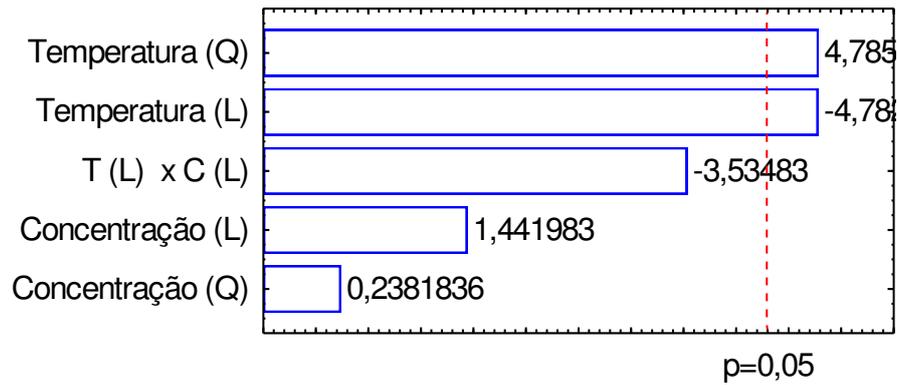


Figura 4.19 – Diagrama de Pareto para o teor de carboidratos

Através dos dados obtidos pelo planejamento fatorial do teor de carboidratos, fez-se a regressão de 2ª ordem desses dados experimentais em função da temperatura de secagem e da concentração de hidróxido de cálcio, gerando o modelo empírico (Equação 60).

Na Tabela 4.23 apresentam-se os coeficientes de regressão, a 95% de confiança, da concentração de hidróxido de cálcio e temperatura sobre o teor de carboidratos, durante o processo de desintoxicação e secagem da torta de mamona.

Tabela 4.23 – Coeficientes de regressão para o teor de carboidratos da torta de mamona no planejamento experimental

	Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	P
	Média	52,96298	0,447020	0,000071
Linear	Temperatura (°C)	-2,08502	0,443014	0,042302
	Concentração (%)	-0,13052	0,620093	0,852787
Quadrático	Temperatura (°C)	0,02104	0,004396	0,041000
	Concentração (%)	0,00146	0,006131	0,833918
Interação	TxC	-0,00062	0,000175	0,071549

Sendo ignorado os fatores não significativos, o modelo matemático para carboidratos é o seguinte:

$$\text{Carb} = 53,36 - 2,26T + 0,022T^2 \quad (60)$$

em que:

Carb – teor de carboidratos, %

T – temperatura de secagem, °C

Observa-se, na Tabela 4.24 (ANOVA), que o valor do $F_{\text{calculado}}$ foi menor que o valor do F_{tabelado} e o valor de razão foi de aproximadamente 0,78 para o nível de 95% de confiança; de acordo com o teste F, o modelo de segunda ordem de carboidratos não foi estatisticamente significativo; o coeficiente de determinação (R^2) foi de 46,42% indicando que o modelo explica apenas 46% dos dados.

Tabela 4.24 - ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de carboidratos

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R^2 (%)
Regressão	29,77	2	14,89	3,47	4,46	46,42
Resíduos	34,36	8	4,29			
F de ajuste	32,26	6	5,38			
Erro puro	2,10	2	1,05			
Total	64,13	10				

Desta forma, a superfície de resposta, Figura 4.20, serve apenas como ilustrativo.

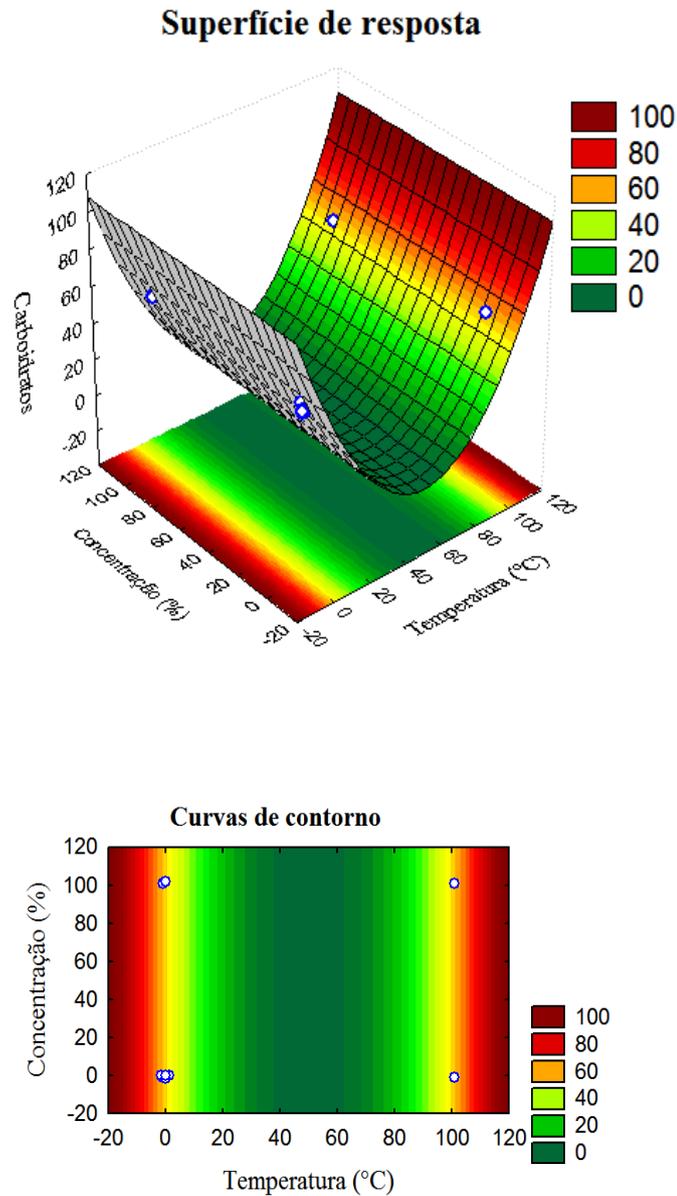


Figura 4.20 - Superfície de resposta e curvas de contorno para variação do teor de carboidratos da torta tratada em função da temperatura e da concentração.

4.6.5 – Teor de ricina da torta de mamona após desintoxicação e secagem

Observa-se, na Figura 4.21, os efeitos significativos e os não significativos, e o grau de significância estatística da concentração e temperatura sobre o teor de ricina da torta de mamona. A estimativa para eficiência do processo apresentou efeitos positivos lineares e quadráticos da concentração de hidróxido de cálcio e temperatura, como

também das interações entre temperatura e concentração de hidróxido de cálcio, significativos a 95% de confiança com $p \leq 5\%$.

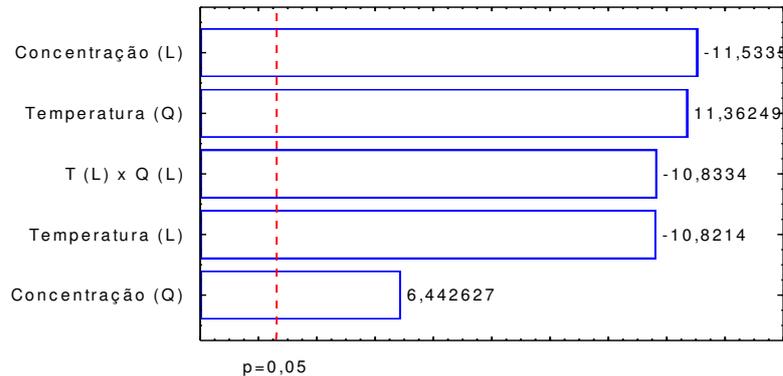


Figura 4.21 – Diagrama de pareto para o teor de ricina

Com os dados de ricina obtidos a partir do planejamento fatorial adotado, foi feita a regressão de 2ª ordem desses dados experimentais, em função da temperatura e da concentração de hidróxido de cálcio, para obtenção do modelo empírico que represente os dados experimentais após desconsiderar os fatores não significativos a 95% de confiança (Equação 61). Em seguida foi realizada Análise de Variância (Tabela 4.25) para validação do modelo matemático.

Tabela 4.25–Coeficientes de regressão calculados para o teor de ricina da torta de mamona no planejamento experimental

	Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	P
	Média	0,256728	0,001573	0,000038
Linear	Temperatura (°C)	-0,016523	0,001559	0,008790
	Concentração (%)	-0,014336	0,002183	0,022
Quadrático	Temperatura (°C)	0,000176	0,000015	0,076
	Concentração (%)	0,000139	0,000022	0,023255
Interação	TxC	-0,000007	0,000001	0,008413

Modelo matemático para teor de ricina:

$$R = 0,256728 - 0,016523T - 0,014336C + 0,000176T^2 + 0,000139C^2 - 0,000007Tx C \quad (61)$$

em que:

R – teor de ricina, %

C – concentração de hidróxido de cálcio, %

T – temperatura de secagem, °C

Na Tabela 4.26, através da análise de variância para o teor de ricina, verifica-se que o $F_{\text{calculado}}$ foi menor que o F_{tabelado} sendo a razão igual a 0,43 para o nível de 95% de confiança, indicando que o modelo gerado pela regressão não é estatisticamente significativo ou preditivo. Uma vez que, segundo RODRIGUES & LEMMA (2009) para que uma regressão seja preditiva e estatisticamente significativa, o valor de $F_{\text{calculado}}$ deve ser superior ao valor de F_{tabelado} , no mínimo cerca de 4 a 5 vezes. O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi muito baixo (68%). Assim, não é possível estabelecer a superfície de resposta. O modelo codificado apresentado e a superfície de resposta para esta condição estudada têm apenas efeito representativo.

Tabela 4.26 - ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de ricina

Fonte de variação	Soma Quadrát.	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R^2 (%)
Regressão	0,020	5	0,004	2,16	5,05	68,3
Resíduos	0,009	5	0,002			
Falta ajuste	0,009	3	0,003			
Erro puro	0,000003	2	0,00001			
Total	0,03	10				

Na Figura 4.22 tem-se a superfície de resposta e a curva de contorno que representa o comportamento do teor de ricina em função da temperatura e a concentração de hidróxido de cálcio. Pode-se verificar que embora o modelo empírico não seja estatisticamente significativo, as variáveis independentes apresentam influência na remoção do teor de ricina, ou seja, quanto maior foi a concentração de hidróxido de cálcio, com temperatura de secagem variando entre 70 a 80°C, maior também foi a remoção do teor de ricina da torta de mamona. Para a concentração de 5% de hidróxido de cálcio e temperatura de 90°C, houve remoção total do teor de ricina, chegando a 0,0%.

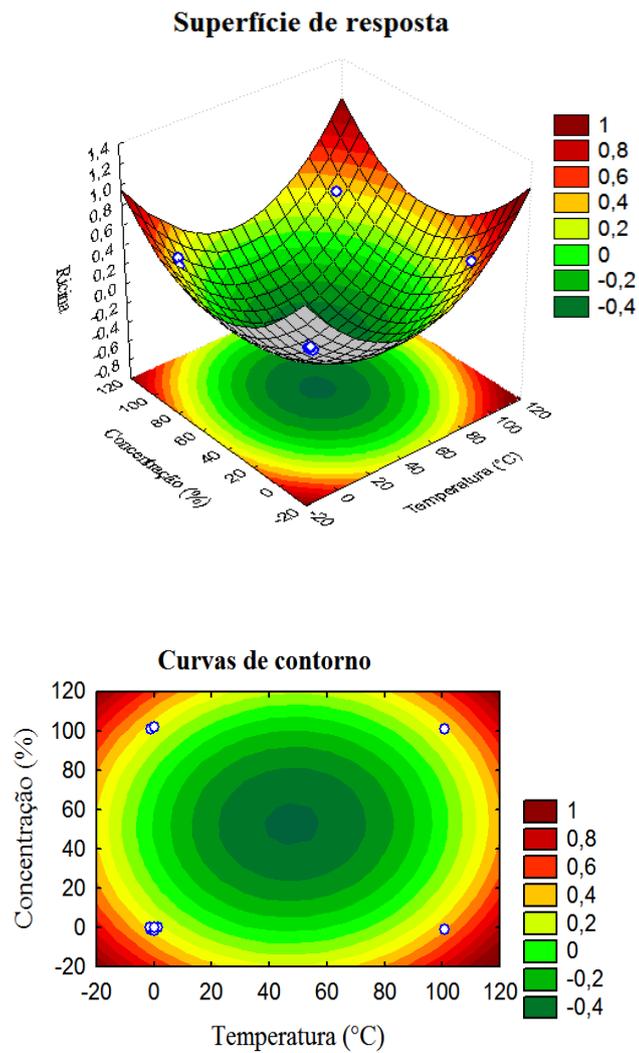


Figura 4.22- Superfície de resposta e curva de contorno para variação do teor de ricina da torta tratada em função da temperatura e da concentração

4.6.6 – pH da torta de mamona após desintoxicação e secagem

Analisando o gráfico de pareto, Figura 4.23, verifica-se que a concentração de hidróxido de cálcio linear foi a variável que influenciou no valor de pH da torta de mamona de forma positiva, indicando um aumento no valor de pH com o aumento da concentração de hidróxido de cálcio.

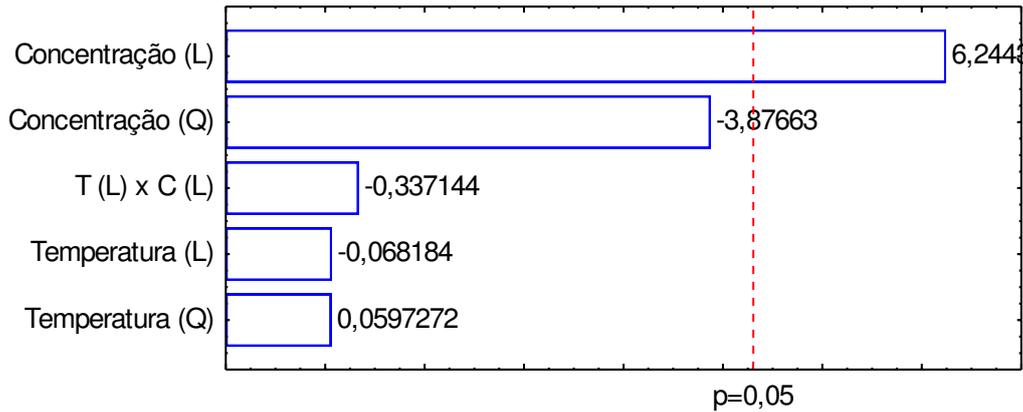


Figura 4.23 – Diagrama de Pareto para o teor de pH

Através dos dados obtidos pelo planejamento fatorial para a resposta pH, fez-se a regressão de 2ª ordem desses dados experimentais, em função da temperatura de secagem e da concentração de hidróxido de cálcio, para obtenção do modelo matemático empírico.

Os valores dos coeficientes de regressão obtidos a partir dos dados experimentais do valor de pH em função da concentração de hidróxido de cálcio e da temperatura durante o processo de desintoxicação e secagem da torta de mamona estão apresentados na Tabela 4.27. Percebe-se que o efeito linear dado pela concentração de hidróxido de cálcio foi significativo a 95% de confiança com $p = 5\%$, aproximadamente.

Tabela 4.27 – Coeficientes de regressão para o teor de pH da torta de mamona no planejamento experimental

	Fator	Coefficientes de regressão	Erro padrão	P
	Média	9,080371	0,181690	0,000400
Linear	Temperatura (°C)	-0,011055	0,180062	0,956628
	Concentração (%)	0,993176	0,252036	0,058777
Quadrático	Temperatura (°C)	0,000107	0,001787	0,957804
	Concentração (%)	-0,009661	0,002492	0,060560
Interação	TxC	-0,000024	0,000071	0,768102

Desconsiderando-se os fatores não significativos, o modelo codificado para o teor de pH é:

$$\text{pH} = 9,08 + 0,99C \quad (62)$$

em que:

pH – teor de pH

C – concentração de hidróxido de cálcio, %

Após a análise de regressão foi realizada Análise de Variância (Tabela 4.28) para validação do modelo matemático.

Tabela 4.28 - ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de pH

Fatores	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R ² (%)
Regressão	11,66	1	5,66	67,28	5,32	91,5
Resíduos	0,47	2	0,47			
F de ajuste	0,78	5	0,16			
Erro puro	0,35	2	0,17			
Total	13,25	10				

A análise de variância mostrou que o modelo é válido, uma vez que a razão de $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} foi igual a 12,64 e o valor de R^2 foi 91,5%. Desta forma, pode-se estabelecer a superfície de resposta, Figura 4.24.

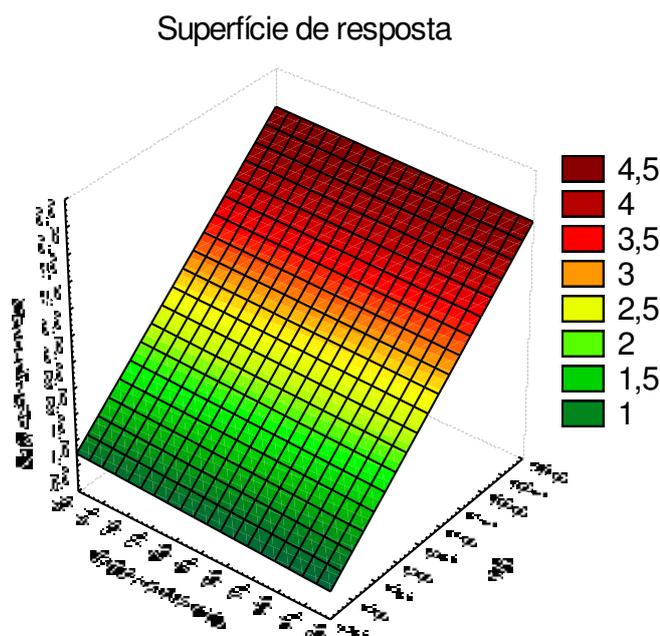


Figura 4.24 - Superfície de resposta para variação do teor de pH da torta tratada em função da temperatura e da concentração

4.6.7 - Teor de cinzas da torta de mamona após a desintoxicação e secagem

Nota-se no gráfico de pareto, Figura 4.25, analisando os efeitos principais que os fatores lineares e quadráticos, como também a interação da temperatura e da concentração foram significativas sobre o teor de cinzas a 95% de confiança, com significado estatístico ($p \leq 5\%$), sendo a temperatura linear a variável mais influente, apresentando efeito positivo, ou seja, com o aumento da temperatura, aumenta-se o teor de cinzas da torta de mamona. Pode-se perceber que o efeito combinado da temperatura e da concentração apresentou tendência negativa, ou seja, com o aumento dessas duas variáveis diminui a resposta estudada.

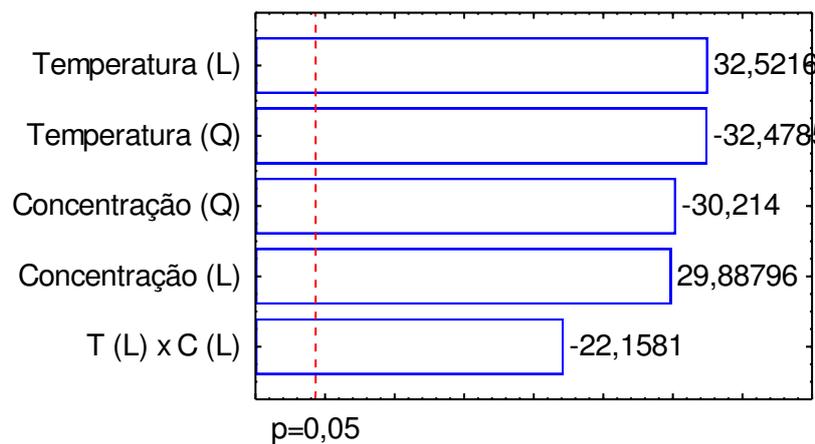


Figura 4.25 – Diagrama de pareto para o teor de cinzas

Através dos dados obtidos pelo planejamento fatorial do teor de cinzas das amostras da torta de mamona fez-se a regressão de 2ª ordem desses dados experimentais, em função da temperatura de secagem e da concentração de hidróxido de cálcio gerando o modelo empírico (Equação 63), desconsiderando os fatores não significativos.

Na Tabela 4.29 se apresentam os fatores significativos e não significativos da análise de regressão, erro padrão e o grau de significância estatística da concentração e da temperatura sobre o teor de cinzas da torta de mamona. Os efeitos dos fatores lineares, dados pela concentração de hidróxido de cálcio e temperatura e pelas interações entre temperatura e concentração, bem como o efeito quadrático da concentração, são significativos a 95% de confiança com $p \leq 5\%$.

Tabela 4.29 - Coeficientes de regressão para o teor de cinzas da torta de mamona no planejamento experimental

	Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	P
	Média	13,55502	0,0261	0,000004
Linear	Temperatura (°C)	0,85424	0,0259	0,00092
	Concentração (%)	1,10385	0,036	0,0011
Quadrático	Temperatura (°C)	-0,00836	0,00026	0,00095
	Concentração (%)	-0,01085	0,00036	0,0011
Interação	TxC	-0,00023	0,000010	0,0020

O modelo codificado para o teor de cinzas:

$$C_z = 13,55502 + 0,85424T + 1,10385C - 0,00836T^2 - 0,01085C^2 - 0,00023TxC \quad (63)$$

em que:

C_z – teor de cinzas, %

C – concentração de hidróxido de cálcio, %

T – temperatura de secagem, °C

$T \times C$ - interação temperatura *versus* concentração

A Tabela 4.30 apresenta a análise de variância para o teor de cinzas para validação do modelo codificado. Pode ser observado com relação ao teste F, que o $F_{\text{calculado}}$ é 3,41 vezes maior que o F_{tabelado} mostrando que o modelo de segunda ordem do teor de cinzas é estatisticamente significativo. O valor do coeficiente de determinação foi 0,95 indicando que o modelo encontrado explica 95% dos dados observados.

Tabela 4.30 - ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de cinzas

Fonte de variação	Soma Quadrát.	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R^2 (%)
Regressão	7,79	5	1,56	17,21	5,05	94,5
Resíduo	0,45	5	0,09			
Falta ajuste	0,45	3	0,15			
Erro puro	0,01	2	0,004			
Total	8,24	10				

Analisando a superfície de resposta e a curva de contorno para o teor de cinzas da torta de mamona, Figura 4.26, verifica-se que o maior teor de cinzas foi de 14,7% para a temperatura de secagem entre 80 e 90°C, nas concentrações de 2 a 4% e o menor teor foi de 9%, a 50°C e concentração de hidróxido de cálcio de 1%.

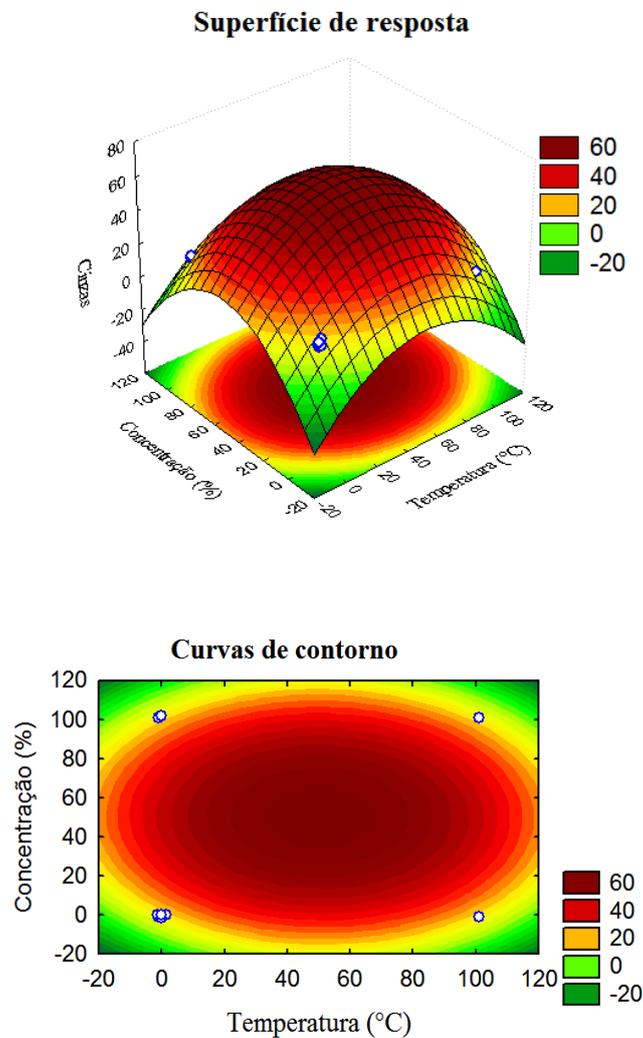


Figura 4.26 - Superfície de resposta e curva de contorno para variação do teor de cinzas da torta tratada em função da temperatura e da concentração

4.6.8 – Teor de fibras da torta de mamona após a desintoxicação e secagem

Analisando-se os efeitos no gráfico de pareto, Figura 4.27, verifica-se que não houve efeito significativo lineares, quadráticos ou da interação das temperaturas e concentrações de hidróxido de cálcio sobre o teor de fibras da torta de mamona ao nível de 95% de confiança, cujos valores de p encontram-se superiores a 0,05.

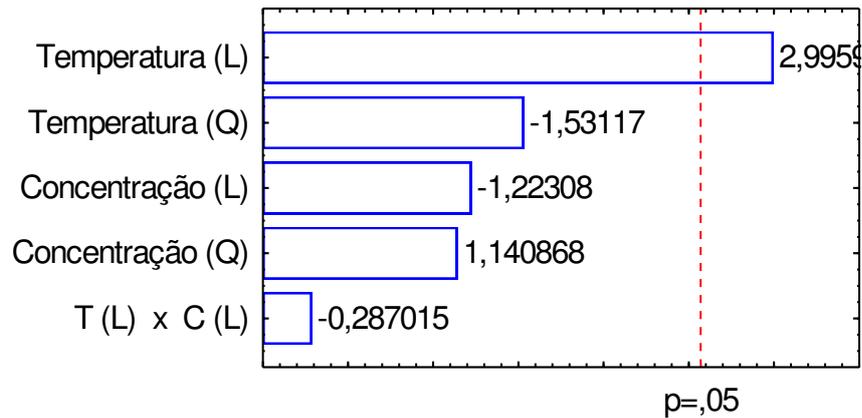


Figura 4.27 – Diagrama de pareto para o teor de fibras

Os efeitos não significativos ($R^2 = 61,78$) a 95% de confiança da concentração e da temperatura sobre o teor de fibras, durante o processo de desintoxicação e secagem da torta de mamona, se encontram na Tabela 4.31 (Análise de Regressão).

Tabela 4.31 – Coeficientes de regressão para o teor de fibras da torta de mamona no planejamento experimental

	Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	P
	Média	16,99724	0,587616	0,001193
Linear	Temperatura (°C)	1,43093	0,582350	0,133298
	Concentração (%)	-1,17817	0,815124	0,285227
Quadrático	Temperatura (°C)	-0,01417	0,005778	0,133721
	Concentração (%)	0,01164	0,008060	0,285419
Interação	TxC	0,00009	0,000230	0,730913

Pode-se perceber que para o nível de confiança estudado não foi possível obter modelo matemático para representar os dados.

4.6.9 – Teor de energia da torta de mamona após a desintoxicação e secagem

Analisando o gráfico de pareto, Figura 4.28, verifica-se que todos os fatores apresentaram efeito estatisticamente significativo sobre a resposta energia. Verifica-se também que os fatores lineares e quadráticos da concentração foram as variáveis mais influentes sobre o teor de energia da torta de mamona. A concentração e temperatura

linear apresentaram efeito negativo, ou seja, o aumento da concentração e da temperatura, diminui o teor de energia presente na torta de mamona.

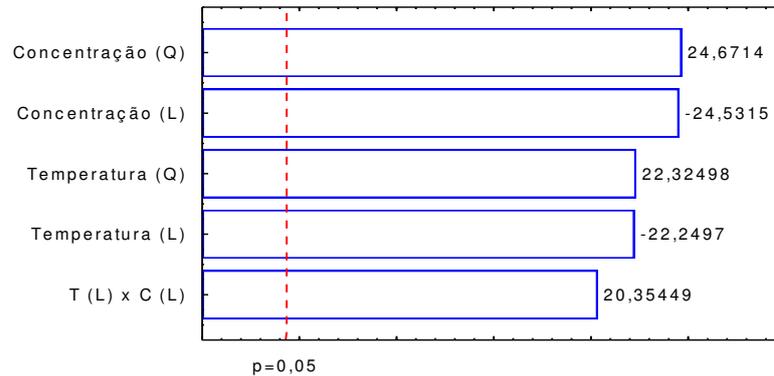


Figura 4.28 – Diagrama de Pareto para o teor de energia

Realizou-se a regressão de 2ª ordem dos dados obtidos pelo planejamento fatorial do teor de energia, em função da temperatura de secagem e da concentração de hidróxido de cálcio, gerando o modelo empírico (Equação 64), com concentração e temperatura linear, temperatura e concentração quadrática e a interação temperatura versus concentração, significativas a 95% de confiança.

Tem-se na Tabela 4.32 os fatores significativos da análise de regressão, durante o processo de desintoxicação e secagem da torta de mamona, a 95% de confiança com ($p \leq 5\%$) cujo coeficiente de determinação R^2 foi igual a 93,94%.

Tabela 4.32 – Coeficientes de regressão para o teor de energia da torta de mamona no planejamento experimental

Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	P	
Média	331,5865	0,210065	0,0000004	
Linear	Temperatura (°C)	-4,7101	0,208183	0,001948
	Concentração (%)	-7,2319	0,291396	0,001620
Quadrático	Temperatura (°C)	0,0461	0,002066	0,002000
	Concentração (%)	0,0711	0,002881	0,001639
Interação	TxC	0,0017	0,000082	0,002405

Desta forma, o modelo empírico para a resposta energia fica assim:

$$E = 331,5865 - 4,7101T - 7,2319C + 0,0461T^2 + 0,0711C^2 + 0,0017TxC \quad (64)$$

em que:

E – teor de energia, kcal/100g

C – concentração de hidróxido de cálcio, %

T – temperatura de secagem, °C

T x C - interação temperatura *versus* concentração

Verifica-se, na Tabela 4.33, pelo teste F que o modelo do teor de energia foi estatisticamente significativo a 95% de confiança, pois o $F_{\text{calculado}}$ foi superior ao F_{tabelado} . E o coeficiente de determinação R^2 apresentou valor igual a 93,94%. Desta forma pode-se estabelecer superfície de resposta e suas respectivas curvas de contorno.

Tabela 4.33 – ANOVA do ajuste do modelo obtido para o teor de energia

Fonte de variação	Soma Quadrát.	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R^2 (%)
Regressão	296,57	5	59,31	15,52	5,05	93,94
Resíduos	19,12	5	3,82			
Falta ajuste	18,65	3	6,22			
Erro puro	0,46	2	0,23			
Total	315,69	10				

Na Figura 4.29 tem-se a superfície de resposta e a curva de contorno que representa o comportamento do teor de energia em função da temperatura e a concentração de hidróxido de cálcio.

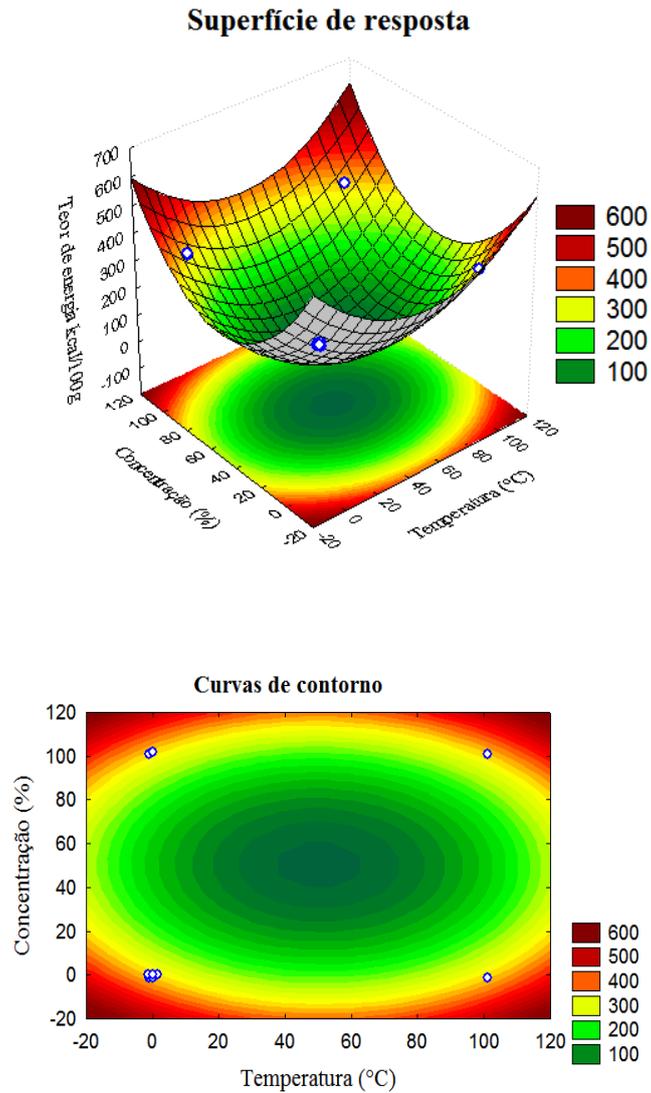


Figura 4.29 - Superfície de resposta e curva de contorno para variação do teor de energia da torta tratada em função da temperatura e da concentração

4.6.10 – Calor específico da torta de mamona após a desintoxicação e secagem

Analisando-se os efeitos principais no gráfico de pareto, Figura 4.30, verifica-se que não houve efeito significativo lineares, quadráticos ou da interação das temperaturas e concentração de hidróxido de cálcio sobre o calor específico da torta de mamona ao nível de 95% de confiança, cujos valores de p encontram-se superiores a 0,05.

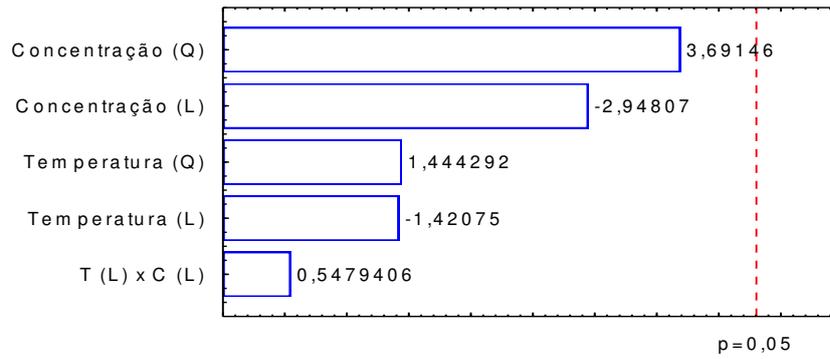


Figura 4.30 – Diagrama de Pareto para o teor de calor específico

Foi realizada a regressão de 2ª ordem dos dados obtidos pelo planejamento fatorial para a resposta calor específico em função da temperatura de secagem e concentração de hidróxido de sódio. Na Tabela 4.34 são apresentados os coeficientes de regressão obtidos a partir dos dados experimentais.

Tabela 4.34 – Coeficientes de regressão para o teor de calor específico da torta de mamona no planejamento experimental

	Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	P
	Média	0,574664	0,003805	0,000044
Linear	Temperatura (°C)	-0,005391	0,003770	0,289002
	Concentração (%)	-0,019531	0,005277	0,065881
Quadrático	Temperatura (°C)	0,000054	0,000037	0,285492
	Concentração (%)	0,000193	0,000052	0,066182
Interação	TxC	0,000001	0,000001	0,638717

Constata-se na Tabela 4.34 que a análise de regressão para a resposta calor específico durante o processo de desintoxicação e secagem de torta de mamona não foi significativa para o nível de confiança estudado, não estabelecendo modelo matemático e a superfície de resposta para representar os dados experimentais.

5- CONCLUSÕES

Para as condições em que este trabalho foi realizado, chegou-se às seguintes conclusões em relação à torta de mamona (*Ricinus communis* L.):

- O teor de água de equilíbrio higroscópico da torta de mamona é diretamente proporcional ao teor de umidade relativa e decresce com o aumento da temperatura para uma mesma atividade de água;
- Baseando-se em coeficientes estatísticos, o modelo de Cavalcanti Mata foi o que melhor representou a higroscopicidade da torta de mamona, quando comparado aos outros modelos testados;
- Na secagem em camada fina, o melhor ajuste dos dados experimentais às curvas foi encontrado através do modelo de Page, com maior coeficiente de determinação e menor desvio padrão;
- Os modelos matemáticos de Henderson, Midilli e Cavalcanti também se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais na secagem em camada fina;
- Considerando os resultados qualitativos da ricina, conclui-se que quanto maior a concentração de hidróxido de cálcio maior também a remoção de ricina da torta de mamona;
- Analisando a superfície de resposta em função do resultado do teor de ricina, a condição ótima de processo satisfatório para eliminação da ricina foi a torta de mamona tratada a 5% de hidróxido de cálcio e secada na temperatura de 90°C;
- A torta de mamona tratada com 5% de hidróxido de cálcio em uma diluição de 1:7 e secada na temperatura de 90°C teve o teor de ricina removido totalmente, chegando a 0,00%;
- O calor latente de vaporização da torta de mamona apresentou baixa difusividade e o calor específico aumentou com o aumento do teor de água;

- O modelo matemático para simulação de secagem em leito fixo proposto por THOMPSON et al. (1968), com as condições estudadas neste trabalho, simulou satisfatoriamente a secagem em camada espessa da torta de mamona com teor de água inicial de 55% em base úmida, apresentando os menores desvios entre os dados experimentais e os preditos;
- Com base nos dados experimentais da secagem em camada espessa, o tempo gasto para reduzir o teor de água da torta de mamona de 55% para um valor médio de 6%, base seca, em camada de 20 cm de espessura, foi de 12 horas para a temperatura de 50 °C; 8,5 horas para 70°C e 6,5 horas para 90°C;
- Para os dados simulados na secagem em camada espessa, o tempo gasto para reduzir o teor de água da torta de mamona de 55% para um valor médio de 6%, base seca, camada de 20 cm de espessura, foi 17 horas para 50 °C; 15 horas para 70 °C e 13,5 horas para 90°C;
- As cinéticas de secagem obtidas nas simulações, mesmo convergindo para o teor de água final obtido experimentalmente, extrapolam o tempo final, assim como os teores pontuais em razão da difusividade do modelo utilizado o qual tem, como base, a extração de água interna enquanto a torta de mamona apresenta água apenas superficialmente.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. New BET type multilayer sorption isotherms. Part II: modeling water sorption in foods. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie**, London, v.22, n.4, p. 192-195, 1989.

ALBUQUERQUE, R. C. ; SAMPAIO, L. R. ; RIBEIRO, R. R. F. ; BELTRÃO, N. E. M. ; SEVERINO, L. S. ; FREIRE, R. M. M. ; PEDROZA, J. P. . Teor de Cinzas e Matéria Orgânica da Torta de Mamona em Função do Armazenamento em Diferentes Embalagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA, J. P. G.; SILVA, J. E.; VILLAMIL, J. M. P.; SILVA, M. M. Secagem natural e artificial de vagens de algaroba. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 27, n.1, p. 48-57, 2002.

ALONSO, L. F. T. **Algoritmos de seleção e dimensionamento de secadores**. 2001. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ALVARADO, J. D. Propriedades físicas de frutas. IV: Difusividad y conductividad térmica efectiva de pulpas. **Latin American Applied Research**, Ambato, v. 24, n.1, p.41- 47, 2001.

ALVES, E. E. N. ; SOUZA, C. F. ; INOUE, K. R. A. . Produção de biogás e biofertilizante a partir da digestão da torta de mamona com adição de dejetos animais. **Engenharia na Agricultura** (Impresso), v. 20, p. 493-500, 2012.

AMORIM NETO, M. S.; ARAÚJO, A. E.; BELTRÃO, N. E. de M. Clima e solo, In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. EMBRAPA-CNPA. Campina Grande, PB. 2001. 350p.

ANANDAN, S; ANIL KUMAR, G. K.; GHOSH, J; Effect of different physical and chemical treatments on detoxification of ricin in castor cake. **Animal Feed Science and Technology**, 120 (1-2), pp. 159-168, 2005.

ANGELUCCI, E.; CARVALHO, L. R.; CARVALHO, N. R. P.; FIGUEIREDO, B. I.; MANTOVANI, B. M. D.; MORAES, M. R. **Análise química de alimentos**: Campinas, São Paulo, 1987. 123p. (Manual Técnico).

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC international**. 18 ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.

ARAÚJO, L. F.; OLIVEIRA, L. S. C.; PERAZZO NETO, A.; ALSIA, O. L. S.; SILVA, F. L. H. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: relação com a umidade ótima para fermentação sólida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 379-384, 2005.

ASCHERI, D. P. R.; RIBEIRO, M. M.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Isotermas de adsorción de agua y estabilidade de harinas extruídas de amaranto, arroz y maiz: estufio comparativo. **Alimentária**, Madrid, n. 363, p. 100-107, 2005.

AZEREDO, H. M. C.; PINTO, G. A. S.; BRITO, E. S.; AZEREDO, R. M. C. Alterações microbiológicas durante a estocagem. In: AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. cap. 1, p.19-35.

AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 506 p.

AZOUBEL, P. M.; CIPRIANI, D. C.; EL-AOUAR, A. A.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 413-417, 2005.

BAKKER-ARKEMA, F.W.; BROOK, R.C.; BROOKER, D.B. **Energy and capacity performance evaluation of grain dryers**. St. Joseph: ASAE, 1978, 14 p. (ASAE Paper n. 78-3523).

BANDEIRA, D. A.; CARTAXO, W. V.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Resíduo industrial da mamona como fonte alternativa na alimentação animal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1. 2004. Campina Grande. Energia e sustentabilidade. **Anais** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. s.p. 2004.

BARROS NETO, B. de; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** 3 ed. Editora da UNICAMP. Campinas, 2007.

BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. Direcionamento dos resíduos e coprodutos da fabricação do biodiesel a partir de mamona e pinhão manso. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.18, n.4, p.613-619, 2009

BELTRÃO, N. E. de M., CARTAXO, W. V., PEREIRA, S. R. P., SOARES, J. J., SILVA, O. R. R. F. **O cultivo sustentável da mamona no Semi-árido Brasileiro.** Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2005. 23 p. (EMBRAPA-CNPA. Circular Técnica, 84).

BELTRÃO, N. E. de M. **O biodiesel do óleo da mamona e a produção de fitomassa:** considerações gerais e singularidade. EMBRAPA-CNPA. Campina Grande, PB. 2004. 2 p.

BELTRÃO, N. E. M.; MELO, F. B.; CARDOSO, G. D.; SEVERINO, L. S. **Mamona: Árvore do conhecimento e sistemas de produção para o semi-árido Brasileiro.** Campina Grande, PB: MAPA, 2003. 19 p.

BELTRÃO, N. E de M. **Torta de mamona (*Ricinus communis*L.): fertilizante e alimento.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002.

BESERRA, T. L.; VIEIRA, M. M. M.; MENESES, A. J. G.; FERNANDES, P. B.; CÂNDIDO, M. J. D.; BOMFIM, M. A. D.; SEVERINO, L. S.; PEREIRA, E. S. Comportamento ingestivo de ovinos alimentados com dietas contendo quatro níveis de farelo de mamona. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAPRINOS E OVINOS DE CORTE, 3; FEIRA NACIONAL DO AGRONEGÓCIO DA CAPRINO-OVINOCULTURA DE CORTE, 2007, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: EMEPA-PB, 2007. 5 f. CD-ROM.

BLEINROTH, E. W. **Tecnologia de pós-colheita de frutos tropicais**. Campinas, SP: ITAL. Governo do Estado, 1988, 200 p.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Manual de laboratório de química de alimentos**. 1. ed. São Paulo: Varela, 2003. 135 p.

BOUQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equationa for fitting water sorption isotherms os food: II. Evaluations of various two-parameter models. **Journal of Food Tecnokogy**, London, v. 13, n. 4, p. 319-327, 1978.

BRASEQ – BRASILEIRA DE EQUIPAMENTOS Ltda. **Entendendo a atividade de água e sua importância para a qualidade de alimentos e outros produtos em geral**. Jarinu: Braseq, 2006. 10 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009, 395 p.

BRASIL, I. M., GUIMARÃES, A, C. L. **Curso de especialização em tecnologia de processamento de sucos e polpas tropicais: Química e bioquímica do processamento**. Brasília: ABEAS, 2000. v. 5, 109 p.

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

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying cereal grains**. 2 ed. Westport: The AVI Publishing Company, 2004. 265p.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layer. **Journalof American ChemistrySociety**, v. 60, n. 1, p. 309-312, 1938.

CÂNDIDO, M. J. D. ; BOMFIM, M. A. D. ; SEVERINO, L. S. ; OLIVEIRA, S. Z. R. Utilização de coprodutos da mamona na alimentação animal. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2008, Salvador. Anais do III Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande : Embrapa - Algodão, 2008.

CARMO, J. E. F. **Fenômeno de difusão transiente em sólidos esferoidais oblatos. Estudo de caso: secagem de lentilhas**. 2004. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia

de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

CARTAXO, W. V.; BELTRÃO, N. E de M.; SILVA, O.R.R.F da; SEVERINO, L. S.; SUASSUNA, N. D.; SOARES, J. J. **Cultivo de mamona no semi-árido brasileiro**. Campina Grande. EMBRAPA/Algodão, 2004. 20p.

CARVALHO, B. C. L. **Manual do cultivo da mamona**. Salvador: EBDA, 2005. 65p.

CARVALHO, C. R. L.; GODOY, I. J. de; MICHELOTTO, M. D.; FÁVERO, A. P.; VALLS, J. F. M.; BAGGIO, S. R. Composição química das sementes de espécies silvestres de *Arachis*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2., 2008, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia: Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica - FUNCREDI, 2008. p.169.

CASTRO, A. G. **A química e a reologia no processamento dos alimentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003. p. 15-36.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Efeito da secagem em altas temperaturas por curtos períodos de tempo, em camada estacionária, sobre a armazenabilidade de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade “carioca”**: Avaliação experimental, modelagem e simulação. Campinas-SP, UNICAMP, 1997, 328 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; BRAGA, M. E. D.; SILVA, M. Curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lútea* L.) a temperaturas semi-criogênicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p. 55-62, 2003.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Modelagem e simulação de secagem de feijão macassar considerando-se o encolhimento e os diferentes graus maturidade fisiológica” 2006**. 157p. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. (Relatório Final de Pesquisa).

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Editora da UNICAMP: 2º Ed. rev.- Campinas, SP, editora da UNICAMP, 2003. 207p.

CHETANA, R.; SRINIVASA, P. C.; REDDY, S. R. Y. Moisture sorption

characteristics of milk burfi, an traditional Indian sweet, using sugar substitutes. **European Food Research and Technology**, v. 220, n. 2, p. 136-141, 2005.

CHIERICE, G. O; CLARO NETO, S. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Ed. 2ª ed. rev. e ampl. Brasília-DF, Embrapa Informação Tecnológica, 419-447 p.; 506 p., 2007.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. ver. ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

COELHO, W. L. V.; PORTO, A. G.; SANTOS, P.; FURTADO, G. F.; SILVA, F. S. Secagem de polpa de mamão pelo método de camada de espuma. In: JORNADA CIENTÍFICA DA UNEMAT, 3., 2010, Cáceres. **Anais...** Cáceres: Unemat, 2010. CD-ROM.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. **Mamona no Brasil: safras 2011/2012**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/MamonaSerieHist.xls>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*phaseolus vulgaris*L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.501-507, 2007.

COSTA, F. X.; SEVERINO, L. S. BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, R. M. M.; LUCENA, A. M. A.; GUIMARÃES, M. M. B. Avaliação de teores químicos na torta de mamona. **Revista de Biologia e ciência da terra**, V. 4 – n.2, 2º sem., 2004. 7p.

COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; LIMA, V. L. A.; GUIMARÃES, M. M. B.; LUCENA, A. M. A. Resposta do efeito da compactação do solo adubado com torta de mamona nos macronutrientes das folhas da mamoneira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2., Brasília. **Anais...** Brasília: BIPTI, 2006.

COSTA, J. V.; CAMPOS, J. M. S.; OLIVEIRA, A. S.; GUIMARÃES, A. V.; COBIANCHI, F. P.; VALADARES FILHO, S. C. Desempenho de vacas leiteiras alimentadas com farelo de mamona tratada com óxido de cálcio In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009. 1 CD-ROM.

CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. (Ed.) **Resfriamento de frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças; Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 428 p.

DOAN, L. G. Ricin: mechanism of toxicity, clinical manifestations, and vaccine development. **Journal of Toxicology-Clinical Toxicology**, New York, v. 42, n.2, p. 201-208, 2005.

DOYMAZ, I.; TUGRUL, N.; PALA, M. Drying characteristics of dill and parsley leaves. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 77, n. 3, p. 559-565, 2006.

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

DRUMMOND, A. R. F.; GAZINEU, M. H. P.; DOBBIN, M. H. ; ALMEIDA, L. M.; MAIOR, A. M. S. Produção e valor energético da torta de mamona do agreste pernambucano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2. 2006, Aracaju, SE. Cenário Atual e Perspectivas. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2006. não ilpaginado.

EVANGELISTA, A. R.; LOPES, J.; ABREU, J. G.; CASTRO NETO, P; FRAGA, A.C. Composição química de tortas de amendoim (*Arachis hypogaeae* L.) e mamona (*Ricinus communis* L.) por extração de óleo com etanol. In: PRIMEIRO CONGRESSO BRASILEIRO, 2004, Varginha, MG. Primeiro congresso brasileiro - plantas oleaginosas, óleos vegetais e biodiesel, 2004. v.1, p.1-4, 2004.

FARIA, R. Q.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 573-583, 2012.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha

(*Bactrisgasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.

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

FIOREZE, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2004. 229p.

FREIRE, R. M. M.; SEVERINO, L.S.; MACHADO, O.L.T. Ricinoquímica e co-produtos. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. De M. (Edts. Téc.). O Agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. Cap. 13.

FORNAZIERI JÚNIOR, A. **Mamona: uma rica fonte de óleo e de divisas**. São Paulo: Ícone, 1986. 71p.

GARDNER JR., H. K.; D'AQUIN, E. L.; KOULTUN, S. P.; McCOURTNEY, E. J.; VIX, L. E.; GASTROCK, E. A. **Detoxification and deallergenization of castor beans**. The Journal of the American Oil Chemists Society. v.37, p.142-148, 1960.

GOMES, M. A. B.; GOMES, F.H.T.; CÂNDIDO, M. J. D.; PEREIRA, E. S.; LOPES, J. W. B.; FEITOSA, J. V.; POMPEU, R. C. F. F. Composição bromatológica e degradação *in situ* de subprodutos da cadeia do biodiesel. **Revista Científica de Produção Animal**, Teresina, v.11, n.2, p.144-156, 2009.

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

GOUVEIA, D. S.; UGULINO, S. M. P.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Cinética de feijão preto (*Phaseolus vulgaris, L.*) em secador de bandeja. **Holos**, Natal, v. 1, n. 27, p. 38-48, 2011.

GOUVEIA, J. P. G.; MOURA, R. S. F.; ALMEIDA, F. A. C.; OLIVEIRA, A. M. V.; SILVA, M. M. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 471-474, 2002.

HALL, C.W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: The AVI Publishing Company, 1980, p. 382.

HALSEY, G. Physical adsorption on uniform surfaces. **Journal of Chemical Physics**, Woodbury, v. 16, n. 10, p. 931-937, 1948.

HOLANDA, A. **Cadernos de altos estudos: Biodiesel e inclusão social**. Brasília: Câmara dos deputados, Coordenação de publicação, 2004. 200p. (Série de Cadernos de Altos Estudos, 1).

ICOA. **The processing of castor meal for detoxification and deallergenation**. Ridgewood, 1989. 75p. (Technical Bulletin, 1).

ISHIGURO, M.; TAKASHISHI, T. Biological studies on ricin. **J. Biol. Chem.** 55, 587, 1964.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

JACKSON, L. S.; TOLLESON, W. H.; CHIRTE, S. J. Thermal inactivation of ricin using infant formula as a food matrix. **The Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington v.54, n. 19, p. 7300-7304, 2006.

KHATTAB, N.M. Toward a homogeneous and efficient batch tray dryer. **Energy Sources**, n.18, p.447-459, 1996.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isothermas de dessecamento de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 828-834, 2005.

LACERDA, R. S. Caracterização química, bioquímica e físico-química da torta de mamona para seu aproveitamento na produção de material biodegradável e na

alimentação animal. 2013. 209 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2013.

LAMPE, K.F. Toxic effects of plant toxins. In : Amdur, M.O.; Doull, J.; Klaassen, C.D. (eds.). **Casarett and Doull's Toxicology: the basic science of poisons**. 4th ed. Pergamon Press. Maxwell Macmillan Pergamon Publication Corporation, New York, 1991, pp. 804-815.

LEITE, A. C.; FERNANDES, J. B.; CABRA, E. C.; VIEIRA, P. C.; SILVA, M. F. DAS G. F. Isolamento do alcalóidericinina das folhas de *ricinus communis* através de cromatografias em contracorrente. Química Nova, vol. 28, n. 6. São Paulo, p. 983-985, 2005.

LEWIS, M. J. **Propriedades físicas de los alimentos y de los sistemas de processado**. Editora Acribia, Zaragoza, 1993. 494p.

LIMA, C. Q. DE; SILVA, C. G. DA; MEDEIROS, D. S. DE; ALMEIDA, K. M. DE A.; NASCIMENTO, M. A. G. DO; FRANÇA, J. DE A. Cinética de secagem de sementes de algaroba com cápsula. In: SEMANA ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., Catolé do Rocha. **Anais ...**, Catolé do Rocha-PB, UEPB. 2008.

LIMA, E. P. Estudo da estrutura e função da ricina e de tecnologia para o uso da torta de mamona como alimento animal. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2., 2007, João Pessoa, **Anais...** João Pessoa: CONNEPI, 2007.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations: Part II – milk, coffee, tea, nut, oilseeds, spices and starchy foods. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, Zurich, v. 18, n. 1, p. 118-124, 1985.

LOPES, J. da S.; ANDRADE, T. C. de Q.; SANTANA, G. C. Biodiesel: oportunidades e desafios. **Revista Bahia Agrícola**, v. 8, n. 1, p. 24-27, 2007.

LORD, J.M.; ROBERTS, L.M.; ROBERTUS, J.D. Ricin: structure, mode of action and some current applications. **The FASEB Journal**, v. 8, p. 201-208. 1994.

LOWRY, O.H., ROSENBROUGH, N.J., FARR, A.L., RANDALL, R.J. Protein measurement with folin phenol reagent. **J. Biol. Chem.** v.193, p.265–275, 1951.

MACHADO, G. C.; CHAVES, J. B. P.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. **Revista Ceres**, v. 53, n. 308, p. 463-470, 2006.

MACHADO, O. L. T.; MARCONDES, J. A.; SOUZA-SILVA, F. de; HANSEN, E.; RIBEIRO, P. D.; VERÍSSIMO, M.; KANASHIRO, M.; KIPNIS, T. L.; SILVA JUNIOR, J. G. da; SANTOS, M. F. dos; COSTA E SILVA, M. C. 2003. Characterization of allergenic 2S albumin isoforms from *Ricinus communis* seeds. **Allergologie**, v. 26, p. 45- 51, 2003.

MACEDO, M. H. G. de. **Mamona 2004**. Brasília. 2004. 9p. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/especiais/mamona_perspectiva_do_mercado_safra_2004_2005.pdf. Acesso em: 16/10/2010.

MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Avaliação agroeconômica do sistema de produção de mamona em consorcio com o feijão-caupi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 1 CD-ROM.

MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 2, p. 9-17, 2013.

MELONI, P. L. S. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Fortaleza: InstitutoFrutal, 2003. 87p.

MIDILLI, A.; KUCUL, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, Philadelphia, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MOHSEIN, N. N. **Thermal properties of food and agricultural materials**. New York: Science Publishers,, 1980, 407p.

MOLINA, S. M. G.; GAZIOLA, S. A.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Manipulação de cereais para acúmulo de lisina em sementes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 205-208, 2001.

MOSHKIN, V.A. **Physiology and biochemistry of castor**. In: MOSHKIN, V.A. . Castor . New Delhi: Amerind, 1986. 315p.

MUTLU, H.; MEIER, M. A.R. Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. **European Journal of Lipid Science and Technology**.v. 112, p.10-30, 2010.

NA, D. H.; CHO, C. K.; YOUN, Y. S.; CHOI, Y.; LEE, K. R.; YOO, S. D.; LEE, K. C. Capillary electrophoresis to characterize ricin and its subunits with matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry. **Toxicon**,v.43, p. 329-335, 2004.

NASCIMENTO, V. V.; MACHADO, O. L. T. Albuminas 2S de mamona apresentam funções de reserva e defesa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 1 CD-ROM.

NOGUEIRA, R. J. M. C. ; TAVORA, J. F. . Ecofisiologia do Amendoim (*Arachis hypogaea*L). In: SANTOS, R. C. DOS (Editora Técnica). O AGRONEGÓCIO DO AMENDOIM NO BRASIL. 1ª ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005, v. 1, p. 71-122.

OLIVEIRA, A. S. **Co-produtos da extração de óleo de sementes de mamona e de girassol na alimentação de ruminantes**. 2008. 166 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, A. S.; CAMPOS, J. M. S.; OLIVEIRA, M. R. C.; BRITO, A. F.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E.; VALADARES, R. F. D.; SOUZA, S. M.; MACHADO, O. L. T. Nutrient digestibility, nitrogen metabolism and hepatic function of sheep fed diets containing solvent or expeller castor seed meal treated with calcium hydroxide. **Animal Feed Science and Technology**, v.158, p.15-28, 2010b.

OLIVEIRA, A. S. DE; OLIVEIRA, M. R. C.; CAMPOS, J. M. DE S.; MACHADO, O. L. T.; VALADARES FILHO, S. DE C.; DETMANN, E.; MACIEL, F. M. Eficácia de

diferentes métodos de destoxificação da ricina do farelo de mamona, In: II CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA E PRODUÇÃO DE BIODIESEL, 2007, Brasília, **Anais...**Brasília, DF: MCT/ABIPTI, p.1-6, 2007.

OLIVEIRA, J. L. de; GOUVEIA, J. P. G. de; ALMEIDA, F. de A. C.; SILVA, M. M. da; LEITE, J. C. A. Isotermas de adsorção e propriedades físico-químicas em polpa de tamarindo (*Tamarindos indica* L). In: Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Campina Grande, 2004, **Anais...**Campina Grande, 2004. CD-ROM

OLIVEIRA, L. M.; OLIVEIRA, P. A. P. L. V. Revisão: principais agentes antimicrobianos utilizados em embalagens plásticas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.7, n. 2, p. 161-165, 2004.

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

OLSNES, S. The history of ricin, abrin and related toxins. **Toxicon**, v. 44, p. 361-370, 2004. Disponível em: <<http://www.elsevier.com.br/locate/toxicon>>. Acesso em: 23 abr. 2009.

OSTIN, A.; BERGSTRO, T; FREDRIKSSON. S. A. NILSSON, C. Solvent assisted trypsin digestion of ricin for forensic identification by LC-ESIMS/MS. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 79, n. 16, p. 6271-6278, 2007.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção de isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra Bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 326-332, 2001.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. de ; PARK, K. J. B. **Conceitos e processo e equipamentos de secagem.** p.50, 2007. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html> Acesso em 23/04/2011.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. de ; PARK, K. J. B. Seleção de processos e equipamentos de secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. CD.

PATOCKA, J. **Abrin and Ricin - two dangerous poisonous proteins**. Disponível em: http://www.asanltr.com/newsletter/01-4/articles/Abrin&Ricin_Rev.htm. Acesso em: 29 jun. 2010.

PENA, R. S. ; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. C. Aplicação de modelos matemáticos bi e tri-paramétricos na predição das isotermas de adsorção do teor de água do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 8-11, 2000.

PERES, J. R. R.; FREITAS JUNIOR, E. de; GAZZONI, D. L. Biocombustíveis: uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista e Política Agrícola**, Brasília: MAPA/SPA, 2005. V. 14, n. 5, p. 31-41.

PERRONE, J. C., IACHAN, A., DOMONT, G. B., DISITZER, L. V., CASTRO, V. R. O.; ROITMAN, R., GOMES, S.M. **Contribuição ao estudo da torta de mamona**. Rio de Janeiro: Departamento de Imprensa Nacional, 1966. 51p.

PESSOA, T.; GALDINO, P. O.; GURJÃO, G. C.; GURJÃO, F. F.; MATA, M. E. R. M. C. Secagem convectiva de grãos de sorgo em camada fina por secador de leito fixo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 6,n. 1, p. 247–255, 2011.

PINKERTON, S. D.; ROLFE, R.; AULD, D. L. Selection of Castor with divergent concentration of ricin and Ricinus communis agglutinin. **Crop Science**. v.39, n.2, p. 353-357, 1999.

PRADO, M. M.; SARTORI, D. J. M. Estudo do fenômeno do encolhimento durante a secagem de sementes com diferentes características superficiais. **Revista Universidade Rural, série ciências exatas e da terra**. v. 21, p. 11-20, 2002.

PRADO, M. E. T.; VILAS BOAS, E. V. de B.; SANTOS, J. C. B.; PINHEIRO, A. C. M.; MATTOS, L. M.; ARAÚJO, F. M. M. CHITARRA, A. B.; OLIVEIRA, E. C. M. Influência do hipoclorito de sódio sobre a qualidade de abacaxis minimamente processados. In: ENCONTRO NACIONAL DE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 2., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2000. 5p.

QUEIROZ, M.R. **Estudo teórico-experimental da cinética de secagem de bananas.** 2003. 89 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos. UNICAMP, Campinas.

RANGANNA, S. **Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products.** Tata McGraw-Hill Publishing Company limited. 1991, 1112p.

RANGEL, L. P.; PERES, S.; CASTELLETTI, C. E. M. Estudo da viabilidade técnica para geração de energia elétrica a partir dos resíduos da mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1, 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA-Algodão, 2004. (cd-rom).

RIBEIRO, L. S. O. **Torta de algodão e de mamona na ensilagem de capim-elefante.** 2010. 86p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Itapetinga-BA.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos.** São Paulo: Edgard Blücher, Instituto Mauá de Tecnologia, 2004. 184 p.

RODRIGUES, MARIA IZABEL; LEMMA, ANTONIO F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos.** 2ª Ed. – Campinas, SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor. 2009, 358 p.

RODRIGUES, R. F. O.; OLIVEIRA, F.; FONSECA, A. M. Asfolhas de Palma Christi – *Ricinus communis* L. *Euphorbiaceae* Jussieu. **Revista Lecta.** v. 20, n. 2, p. 183-194. 2002.

ROSSI, S. J. **Psicrometria.** João Pessoa: FUNAPE, 1987. 60p.

SANTOS, F. S. A.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade de farinhas de mandioca temperadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 6, n. 2, p. 149-155, 2004.

SANTOS, S. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; BOMFIM, M. A. D.; SEVERINO, L. S.; PEREIRA, L. P. da; ARRUDA, P. C. L. de. Efeito da inclusão de cascade mamona na dieta de cabras leiteiras sobre a produção e a composição físico-química do leite. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAPRINOS E OVINOS DE CORTE, 3;

FEIRA NACIONAL DO AGRONEGÓCIO DA CAPRINO-OVINOCULTURA DE CORTE, 2007, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: EMEPA-PB, 2007. 3f. 1 CD-ROM.

SATYRO, M. A.; ALVES, P. M.; PICOLLI FILHO, D. E. **Modelagem e simulação de processos – Conceituação geral. REBEQ** . p.3-7, 1986.

SAVY FILHO, A. Melhoramento da Mamona. In: BORÉM A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Ed. UFV, p. 429-452, 2005.

SAVY FILHO, A. **Mamona: Tecnologia Agrícola**. EMOPI. Campinas, SP. 2007.

SEVERINO, L. S.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S.; CARDOSO, G. D.; SANTOS, J. W. **Fatores de conversão do peso de cachos e frutos para peso de sementes de mamona**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 15p.

SEVERINO, L. S.; MILANI, M.; BELTRÃO, N. E. M. **Mamona: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

SEVERINO, L.S. **O que sabemos sobre torta de mamona**. In: Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Campina Grande, 2005. (Documento 134).

SILVA, D. J.; QUEIROZ, C. **Análise de alimentos** (Métodos químicos e biológicos). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235 p.

SILVA, Y. C.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M. Atividade de água de cajá em pó microencapsulado com amido modificado: estudo de dois modelos matemáticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA DE FRUTOS TROPICAIS, 1., 2005, João Pessoa. **Anais...**, João Pessoa: UFPB. CD Rom.

SOUZA, J. A.; SILVA Y. C; SILVA F. D; CAVALCANTI MATA M. E. R. M. Determinação do calor específico do feijão mascassar (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.) Variedade Manteiguinha, VII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2003.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, p.883-892, 2011.

SOUSA, M. B. DE. **Cinética de secagem e composição química da torta e do farelo de mamona em função das condições de secagem e armazenagem.** 2007, 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.

SOUZA, C. M. A.; QUEIROZ, D. M.; LACERDA FILHO, A. F. Simulação do processo de secagem de sementes de milho em camada fixa. **ScientiaAgrícola** v.59,n.4, p.653-660, 2002.

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.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto.** 2009. 212f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TRUGO, N. M. F. **Isolamento e caracterização química e físico-química de alérgenos de mamona.** Rio de Janeiro-RJ, UFRJ, 1979. 110f. (Dissertação).

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant.** 2.ed.Ythaca: Cornell University Press, 1994. 476p.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético.**Revista de PolíticaAgrícola**, a.16, n.1, p.42-46, 2005.

VAN REST, D. J.; ISAACS, G. W. Exposed layer drying rater of grain. **Trasactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 11, n. 2, p. 236-237 e 239, mar/apr. 1968.

VIEIRA, R.M .; LIMA,E.F.; BATISTA, F.A.S. Diagnóstico e perspectivas da mamona no Brasil. In: REUNIÃO TEMÁTICA DE MATÉRIAS-PRIMAS OLEAGINOSAS NO BRASIL: DIAGNÓSTICO, PERSPECTIVAS E PRIORIDADES DE PESQUISA. 1997, Campina Grande. **Anais ...** Campina Grande: EMBRAPA- Algodão, 1998. p. 139-150.

APÊNDICE A

Tabela 1. Secagem da torta de mamona tratada a 1% de hidróxido de cálcio a 50°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	56,75223	128,1849	56,17589	1	1	1
2	123,52	56,75223	117,6478	54,05422	0,958070	0,91383	0,99584
4	115,05	56,75223	102,7233	50,67168	0,891233	0,79178	0,86938
6	107,34	56,75223	89,13795	47,12854	0,821218	0,68069	0,75426
8	100,45	56,75223	76,99746	43,50201	0,749556	0,58141	0,65139
10	93,74	56,75223	65,17413	39,45783	0,669640	0,48472	0,55121
12	85,73	56,75223	51,06015	33,80120	0,557861	0,36930	0,43162
14	79,77	56,75223	40,55836	28,85517	0,460124	0,28342	0,34263
16	75,56	56,75223	33,14015	24,89118	0,381793	0,22276	0,27977
18	71,67	56,75223	26,28579	20,81453	0,301236	0,16671	0,22170
20	68,4	56,75223	20,52390	17,02891	0,226429	0,11959	0,17287
22	64,64	56,75223	13,89861	12,20262	0,131058	0,06541	0,11673
24	62,68	56,75223	10,44500	9,457200	0,076807	0,03717	0,08747
29	61,01	56,75223	7,502389	6,978811	0,027832	0,01311	0,06254
39	60,29	56,75223	6,233716	5,867926	0,005881	0,00273	0,05179
59	60,15	56,75223	5,987030	5,648832	0,001551	0,00072	0,04970
89	60,1	56,75223	5,898927	5,570337	0	0	0

Tabela 2. Secagem da torta de mamona tratada a 2% de hidróxido de cálcio a 50°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,50	57,40213	125,6014	55,67403	1	1	1
2	123,20	57,40213	114,6262	53,40736	0,955399	0,908920	0,906661
4	116,17	57,40213	102,3792	50,58782	0,899919	0,807286	0,809689
6	108,33	57,40213	88,72120	47,01178	0,829554	0,693942	0,701543
8	99,95	57,40213	74,13290	42,57260	0,742204	0,572878	0,586031
10	94,02	57,40213	63,79182	38,94689	0,670861	0,487060	0,504149
12	86,01	57,40213	49,83763	33,26109	0,558982	0,371259	0,393658
14	80,25	57,40213	39,80316	28,47086	0,464725	0,287986	0,314204
16	76,73	57,40213	33,67099	25,18945	0,400157	0,237097	0,265649
18	70,98	57,40213	23,65394	19,12914	0,280909	0,153968	0,186333
20	69,26	57,40213	20,65753	17,1208	0,241391	0,129102	0,162607
22	67,56	57,40213	17,69597	15,03532	0,200355	0,104525	0,139157
24	64,36	57,40213	12,12127	10,81085	0,117231	0,058262	0,095016
29	62,94	57,40213	9,647490	8,798642	0,077636	0,037733	0,075429
39	61,52	57,40213	7,173714	6,693539	0,036215	0,017209	0,055841
59	60,33	57,40213	5,100620	4,853083	0	0	0,039426
89	60,33	57,40213	5,100620	4,853083	0	0	0,039426

Tabela 3. Secagem da torta de mamona tratada a 3% de hidróxido de cálcio a 50°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	57,83043	123,9306	55,34330	1	1	1
2	124,65	57,83043	115,5440	53,60575	0,965651	0,929485	0,93226
4	115,93	57,83043	100,4654	50,11608	0,896664	0,802704	0,81047
6	109,79	57,83043	89,84816	47,32633	0,841513	0,713434	0,72471
8	101,67	57,83043	75,80711	43,11948	0,758348	0,595377	0,61130
10	95,49	57,83043	65,12069	39,43824	0,685574	0,505525	0,52499
12	87,52	57,83043	51,33902	33,92319	0,576547	0,389648	0,41368
14	79,98	57,83043	38,30090	27,69389	0,453401	0,280023	0,30837
16	74,54	57,83043	28,89409	22,41692	0,349081	0,200931	0,23239
18	70,92	57,83043	22,63441	18,45682	0,270794	0,148299	0,18183
20	67,47	57,83043	16,66869	14,28720	0,188365	0,098139	0,13365
22	63,45	57,83043	9,717330	8,856696	0,081010	0,039692	0,07750
24	62,74	57,83043	8,489603	7,825269	0,060620	0,029369	0,06759
29	61,42	57,83043	6,207067	5,844307	0,021458	0,010177	0,04915
39	60,98	57,83043	5,446222	5,164929	0,008028	0,003780	0,04300
59	60,72	57,83043	4,996632	4,758850	0	0	0,03937
89	60,72	57,83043	4,996632	4,758850	0	0	0

Tabela 4. Secagem da torta de mamona tratada a 4% de hidróxido de cálcio a 50°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	58,07091	123,0032	55,1576	1	1	1
2	125,17	58,07091	115,5468	53,60637	0,970408	0,917961	0,978038
4	116,76	58,07091	101,0645	50,26472	0,906661	0,817465	0,855325
6	108,24	58,07091	86,39281	46,34986	0,831979	0,695393	0,731007
8	100,27	58,07091	72,66821	42,08546	0,750629	0,581201	0,614713
10	96,63	58,07091	66,40002	39,90385	0,709011	0,529048	0,561601
12	86,43	58,07091	48,83528	32,81163	0,573716	0,382906	0,412769
14	80,43	58,07091	38,50309	27,79944	0,478101	0,296939	0,325221
16	75,27	58,07091	29,61740	22,84986	0,383680	0,223009	0,249929
18	71,87	58,07091	23,76249	19,20007	0,314055	0,174294	0,200319
20	68,75	58,07091	18,38975	15,53322	0,244104	0,129592	0,154794
22	66,58	58,07091	14,65293	12,78025	0,191587	0,098501	0,123131
24	62,24	58,07091	7,179313	6,698413	0,075566	0,036319	0,059804
29	61,75	58,07091	6,335517	5,958044	0,061443	0,029298	0,052654
39	60,56	58,07091	4,286298	4,110125	0,026191	0,012248	0,035291
59	60,15	58,07091	3,580264	3,456512	0,013722	0,006374	0,029308
89	60,36	58,07091	2,814228	2,737197	0	0	0

Tabela 5. Secagem da torta de mamona tratada a 5% de hidróxido de cálcio a 50°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	56,6231	128,7053	56,27560	1	1	1
2	123,97	56,6231	118,9389	54,32516	0,960948	0,919913	0,924047
4	116,95	56,6231	106,5412	51,58350	0,906054	0,818248	0,827629
6	110,01	56,6231	94,28467	48,52914	0,844901	0,717741	0,732310
8	102,89	56,6231	81,71030	44,96735	0,773585	0,614627	0,634519
10	94,76	56,6231	67,35220	40,24578	0,679050	0,496886	0,522856
12	87,88	56,6231	55,20168	35,56771	0,585385	0,397248	0,428361
14	80,43	56,6231	42,04451	29,59953	0,465890	0,289356	0,326037
16	74,99	56,6231	32,43712	24,49247	0,363636	0,210572	0,251320
18	70,24	56,6231	24,04832	19,38625	0,261399	0,141781	0,186080
20	67,30	56,6231	18,85609	15,86464	0,190889	0,099203	0,145700
22	64,31	56,6231	13,57556	11,95289	0,112568	0,055902	0,104633
24	61,82	56,6231	9,178060	8,406506	0,041562	0,019841	0,070434
29	61,45	56,6231	8,524617	7,855007	0,030520	0,014482	0,065352
39	60,79	56,6231	7,359015	6,854585	0,010489	0,004924	0,056287
59	60,45	56,6231	6,758553	6,330690	0	0	0,051617
89	60,45	56,6231	6,758553	6,330690	0	0	0,051617

Tabela 6. Secagem da torta de mamona tratada a 1% de hidróxido de cálcio a 60°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	57,44283	125,4415	55,64260	1	1	1
2	121,84	57,44283	112,1065	52,85388	52,80147	0,891224	0,893607
4	112,63	57,44283	96,07320	48,99864	0,874338	0,760437	0,765685
6	101,71	57,44283	77,06299	43,52292	0,770771	0,605368	0,614012
8	93,2	57,44283	62,24827	38,36606	0,673235	0,484521	0,495813
10	89,58	57,44283	55,94635	35,87538	0,626127	0,433116	0,445533
12	80,9	57,44283	40,83567	28,99526	0,495998	0,309855	0,324972
14	78,24	57,44283	36,20498	26,58125	0,450340	0,272082	0,288026
16	75,5	57,44283	31,43502	23,91678	0,399945	0,233172	0,249969
18	72,54	57,44283	26,28207	20,81220	0,341225	0,191139	0,208856
20	66,18	57,44283	15,21020	13,20213	0,197290	0,100824	0,120519
22	61,89	57,44283	7,741901	7,185599	0,083495	0,039903	0,060933
27	59,52	57,44283	3,616059	3,489864	0,013595	0,006248	0,028015
37	59,1	57,44283	2,884898	2,804005	0,000622	0,000284	0,022182
57	59,08	57,44283	2,850081	2,771102	0,001144	0	0,021904
87	59,08	57,44283	2,850081	2,771102	0	0	0,021904

Tabela 7. Secagem da torta de mamona tratada a 2% de hidróxido de cálcio a 60°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	57,44283	125,4415	55,64260	1	1	1
2	123,05	57,44283	114,2130	53,31749	0,956310	0,893679	0,910413
4	113,58	57,44283	97,72702	49,42522	0,883172	0,774600	0,778880
6	104,95	57,44283	82,70338	45,26648	0,805027	0,652414	0,659014
8	95,25	57,44283	65,81703	39,69256	0,700291	0,515079	0,524286
10	85,35	57,44283	48,58250	32,69733	0,568846	0,374912	0,386780
12	76,16	57,44283	32,58399	24,57611	0,416245	0,244797	0,259136
14	69,89	57,44283	21,66879	17,80965	0,289099	0,156024	0,172049
16	65,48	57,44283	13,99159	12,27423	0,185086	0,093586	0,110797
18	63,02	57,44283	9,709074	8,849837	0,120740	0,058757	0,076629
20	61,8	57,44283	7,585223	7,050432	0,086928	0,041484	0,059683
22	60,65	57,44283	5,583233	5,287992	0,053811	0,025202	0,043711
27	60,05	57,44283	4,538716	4,341660	0,036029	0,016707	0,035377
37	59,26	57,44283	3,163436	3,066431	0,012067	0,005522	0,024404
57	58,87	57,44283	2,484500	2,424269	0,001144	0	0,018987
87	58,87	57,44283	2,484500	2,424269	0	0	0,018987

Tabela 8. Secagem da torta de mamona tratada a 3% de hidróxido de cálcio a 60°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	57,44283	125,4415	55,64260	1	1	1
2	123,88	57,44283	115,6579	53,63026	0,962293	0,890532	0,921941
4	114,15	57,44283	98,71931	49,67776	0,888231	0,782947	0,786797
6	103,95	57,44283	80,96252	44,73994	0,795707	0,638716	0,645124
8	94,99	57,44283	65,36441	39,52749	0,698037	0,512019	0,520675
10	86,75	57,44283	51,01971	33,78348	0,590406	0,395503	0,406226
12	75,68	57,44283	31,74838	24,09774	0,408915	0,238971	0,252469
14	68,31	57,44283	18,91823	15,90860	0,255468	0,134757	0,150104
16	66,32	57,44283	15,45392	13,38535	0,208187	0,106618	0,122464
18	62,85	57,44283	9,413127	8,603289	0,118581	0,057551	0,074267
20	61	57,44283	6,192534	5,831421	0,066642	0,031391	0,048572
22	60,56	57,44283	5,426555	5,147237	0,053822	0,025170	0,042460
27	59,25	57,44283	3,146027	3,050071	0,014526	0,006646	0,024265
37	59	57,44283	2,710812	2,639266	0,006828	0,003111	0,020793
57	58,78	57,44283	2,327822	2,274867	0	0	0,017737
87	58,78	57,44283	2,327822	2,274867	0	0	0,017737

Tabela 9. Secagem da torta de mamona tratada a 4% de hidróxido de cálcio a 60°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	57,44283	125,4415	55,64260	1	1	1
2	124,39	57,44283	116,5457	53,82038	0,965877	0,897764	0,929025
4	106,96	57,44283	86,20252	46,29503	0,824955	0,781368	0,686932
6	104,42	57,44283	81,78073	44,98867	0,800492	0,645462	0,651652
8	93,69	57,44283	63,10129	38,68841	0,682512	0,493780	0,502618
10	87,85	57,44283	52,93466	34,61260	0,606187	0,411224	0,421504
12	75,35	57,44283	31,17389	23,76532	0,403058	0,234521	0,247886
14	69,35	57,44283	20,72873	17,16967	0,279547	0,149703	0,164549
16	67,14	57,44283	16,88142	14,44320	0,228490	0,118462	0,133853
18	64,49	57,44283	12,26814	10,92753	0,162655	0,081001	0,097046
20	62,63	57,44283	9,030138	8,282240	0,113118	0,054707	0,071212
22	60,86	57,44283	5,948813	5,614800	0,063167	0,029686	0,046627
27	60,95	57,44283	6,105491	5,754171	0,065777	0,030958	0,047877
37	59,46	57,44283	3,511608	3,392477	0,021552	0,009895	0,027182
57	58,86	57,44283	2,467091	2,407691	0,003110	0,001414	0,018848
87	58,76	57,44283	2,293005	2,241605	0	0	0,017459

Tabela 10. Secagem da torta de mamona tratada a 5% de hidróxido de cálcio a 60°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,50	57,44283	125,4415	55,64260	1	1	1
2	123,75	57,44283	115,4316	53,58155	0,961115	0,89844	0,920136
4	117,54	57,44283	104,6208	51,12912	0,914845	0,830355	0,833882
6	114,54	57,44283	99,39824	49,84911	0,890696	0,787801	0,792214
8	96,24	57,44283	67,54048	40,31293	0,710779	0,528227	0,538037
10	85,83	57,44283	49,41812	33,07371	0,574199	0,380567	0,393447
12	76,57	57,44283	33,29774	24,97998	0,421496	0,249220	0,264831
14	69,25	57,44283	20,55464	17,05006	0,271885	0,145390	0,163160
16	66,90	57,44283	16,46362	14,13627	0,216911	0,112057	0,130520
18	63,58	57,44283	10,68396	9,652669	0,132320	0,064965	0,084407
20	62,15	57,44283	8,194524	7,573881	0,093100	0,044681	0,064545
22	61,20	57,44283	6,540706	6,139162	0,066032	0,031206	0,051350
27	60,05	57,44283	4,538716	4,341660	0,032119	0,014894	0,035377
37	59,12	57,44283	2,919715	2,836886	0,003728	0,001702	0,022460
57	59,02	57,44283	2,745629	2,672259	0,000622	0,000284	0,021071
87	59,00	57,44283	2,710812	2,639266	0	0	0,020793

Tabela 11. Secagem da torta de mamona tratada a 1% de hidróxido de cálcio a 70°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	58,16881	122,6279	55,08200	1	1	1
2	121,74	58,16881	109,2874	52,21882	0,945937	0,889254	0,891128
4	109,82	58,16881	88,79534	47,03259	0,848009	0,74974	0,723891
6	100,36	58,16881	72,53232	42,03985	0,753735	0,58413	0,591168
8	89,35	58,16881	53,60466	34,89781	0,618877	0,427002	0,436698
10	81,43	58,16881	39,98911	28,56587	0,499316	0,313972	0,325581
12	72,11	58,16881	23,96678	19,33323	0,324984	0,180962	0,194822
14	67,2	58,16881	15,52583	13,43927	0,213693	0,110889	0,125935
16	64,98	58,16881	11,70935	10,48198	0,157852	0,079207	0,094788
18	63,35	58,16881	8,907162	8,178674	0,114361	0,055944	0,071920
23	62,29	58,16881	7,084879	6,616134	0,084857	0,040816	0,057048
33	61,45	58,16881	5,640806	5,339609	0,060753	0,028828	0,045263
43	60,3	58,16881	3,663802	3,534312	0,026665	0,012416	0,029128
73	59,43	58,16881	2,168155	2,122144	0	0	0,016922

Tabela 12. Secagem da torta de mamona tratada a 2% de hidróxido de cálcio a 70°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	58,16881	122,6279	55,08200	1	1	1
2	121,05	58,16881	108,1012	51,94646	0,941581	0,880142	0,881447
4	112,23	58,16881	92,93845	48,17000	0,871221	0,755035	0,757703
6	104,84	58,16881	80,23405	44,51659	0,803153	0,650213	0,654022
8	99,16	58,16881	70,46936	41,33843	0,743940	0,569645	0,574332
10	92,26	58,16881	58,60734	36,95121	0,662200	0,471773	0,477525
12	87,5	58,16881	50,42426	33,52136	0,598298	0,404255	0,410743
14	81,1	58,16881	39,42180	28,27520	0,500555	0,313475	0,320951
16	75,77	58,16881	30,25881	23,22976	0,406552	0,237872	0,246171
18	71,25	58,16881	22,48832	18,35956	0,315814	0,173759	0,182756
20	67,74	58,16881	16,45416	14,12930	0,236999	0,123972	0,133511
25	65,46	58,16881	12,53454	11,13839	0,181275	0,091631	0,101523
33	63,36	58,16881	8,924353	8,193166	0,126401	0,061844	0,072060
43	60,45	58,16881	3,921672	3,773681	0,044061	0,020567	0,031233
73	59	58,16881	1,428927	1,408797	0	0	0,010889

Tabela 13. Secagem da torta de mamona tratada a 3% de hidróxido de cálcio a 70°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,50	58,16881	122,6279	55,08200	1	1	1
2	121,51	58,16881	108,8920	52,12838	0,945905	0,887544	0,887901
4	112,49	58,16881	93,38542	48,28979	0,875603	0,760591	0,761351
6	100,97	58,16881	73,58100	42,39001	0,767550	0,598452	0,599726
8	93,21	58,16881	60,24051	37,59381	0,679709	0,489233	0,490854
10	91,35	58,16881	57,04292	36,32314	0,656437	0,463054	0,464758
12	88,92	58,16881	52,86543	34,58298	0,624567	0,428853	0,430665
14	82,95	58,16881	42,60220	29,87485	0,538338	0,344828	0,346906
16	76,85	58,16881	32,11548	24,30864	0,436395	0,258973	0,261324
18	73,89	58,16881	27,02684	21,27648	0,380862	0,217312	0,219795
20	67,36	58,16881	15,80089	13,64488	0,241091	0,125405	0,128180
25	63,01	58,16881	8,322656	7,683209	0,131905	0,064180	0,067149
33	60,39	58,16881	3,818524	3,678076	0,058552	0,027305	0,030391
43	59,67	58,16881	2,580747	2,515820	0,037266	0,017171	0,020289
73	58,45	58,16881	0,483403	0,481078	0	0	0,003173

Tabela 14. Secagem de torta de mamona tratada a 4% de hidróxido de cálcio a 70°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	58,16881	122,6279	55,08200	1	1	1
2	121,85	58,16881	109,4765	52,26195	0,948352	0,880329	0,892671
4	112,66	58,16881	93,67768	48,36782	0,877032	0,762984	0,763736
6	107,74	58,16881	85,21954	46,01001	0,833849	0,693737	0,694709
8	101,25	58,16881	74,06235	42,54932	0,770468	0,602393	0,603654
10	92,39	58,16881	58,83082	37,03993	0,669565	0,477692	0,479349
12	87,35	58,16881	50,16639	33,40720	0,603032	0,406756	0,408638
14	83,88	58,16881	44,20099	30,65235	0,552578	0,357917	0,359954
16	77,11	58,16881	32,56245	24,56386	0,441069	0,262632	0,264971
18	72,44	58,16881	24,53409	19,70070	0,352002	0,196904	0,199452
20	65,44	58,16881	12,50015	11,11123	0,194688	0,098381	0,101242
25	61,28	58,16881	5,348554	5,077007	0,084173	0,039831	0,042878
33	60,59	58,16881	4,162351	3,996022	0,064375	0,03012	0,033197
43	59,75	58,16881	2,718278	2,646343	0,039656	0,018297	0,021412
73	58,45	58,16881	0,483403	0,481078	0	0	0,003173

Tabela 15. Secagem da torta de mamona tratada a 5% de hidróxido de cálcio a 70°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	58,16881	122,6279	55,08200	1	1	1
2	121,85	58,16881	109,4765	52,26195	0,948368	0,882344	0,892671
4	112,66	58,16881	93,67768	48,36782	0,877070	0,763017	0,763736
6	107,74	58,16881	85,21954	46,01001	0,833901	0,693780	0,694709
8	100,6	58,16881	72,94492	42,17812	0,763743	0,593301	0,594535
10	91,39	58,16881	57,11169	36,35101	0,657054	0,463693	0,465319
12	89,35	58,16881	53,60466	34,89781	0,630448	0,434985	0,436698
14	82,88	58,16881	42,48186	29,81563	0,537398	0,343935	0,345924
16	76,11	58,16881	30,84332	23,57271	0,423096	0,248663	0,250942
18	71,44	58,16881	22,81496	18,57669	0,331624	0,182944	0,185422
20	65,44	58,16881	12,50015	11,11123	0,194939	0,098508	0,101242
25	62,28	58,16881	7,067688	6,601140	0,112364	0,054039	0,056908
33	59,89	58,16881	2,958957	2,873919	0,044122	0,020405	0,023376
43	59,12	58,16881	1,635223	1,608914	0,020961	0,009569	0,012573
73	58,44	58,16881	0,466212	0,464049	0	0	0,003033

Tabela 16. Secagem da torta de mamona tratada a 1% de hidróxido de cálcio a 80°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	57,32007	125,9244	55,73740	1	1	1
2	119,7	57,32007	108,8274	52,11356	0,931462	0,860973	0,864144
4	108,5	57,32007	89,28799	47,17045	0,837973	0,702085	0,708880
6	97,11	57,32007	69,41711	40,97408	0,720781	0,540502	0,550983
8	85,93	57,32007	49,91260	33,29446	0,575536	0,381898	0,395996
10	74,91	57,32007	30,68722	23,48142	0,389942	0,225564	0,243228
12	68,68	57,32007	19,81842	16,54038	0,258665	0,137183	0,156862
14	65,15	57,32007	13,66002	12,01832	0,173140	0,087105	0,107927
16	63,02	57,32007	9,944045	9,044641	0,116898	0,056888	0,078399
18	61,09	57,32007	6,576986	6,171113	0,062551	0,029508	0,051643
23	59,98	57,32007	4,640492	4,434700	0,029710	0,013761	0,036256
33	59,51	57,32007	3,820535	3,679941	0,015436	0,007093	0,029740
53	59,01	57,32007	2,948240	2,863808	0	0	0,022809

Tabela 17. Secagem da torta de mamona tratada a 2% de hidróxido de cálcio a 80°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	57,32007	125,9244	55,73740	1	1	1
2	120,66	57,32007	110,5022	52,49456	0,937881	0,873858	0,877452
4	110,74	57,32007	93,19587	48,23906	0,856363	0,732306	0,739933
6	100,22	57,32007	74,84278	42,80576	0,752283	0,582192	0,594096
8	90,22	57,32007	57,39689	36,46634	0,630846	0,439498	0,455468
10	82,78	57,32007	44,41714	30,75614	0,521463	0,333333	0,352328
12	76,67	57,32007	33,75769	25,23795	0,415757	0,246147	0,267626
14	71,61	57,32007	24,93007	19,95522	0,314562	0,173944	0,197480
16	66,5	57,32007	16,01522	13,80441	0,196738	0,101027	0,126641
18	65,01	57,32007	13,41578	11,82885	0,158894	0,079766	0,105986
20	63,52	57,32007	10,81634	9,760600	0,119275	0,058505	0,085330
22	62,65	57,32007	9,298546	8,507475	0,095270	0,046090	0,073269
24	61,78	57,32007	7,780753	7,219056	0,070589	0,033676	0,061209
34	60,46	57,32007	5,477895	5,193406	0,031786	0,014840	0,042910
53	59,42	57,32007	3,663522	3,534051	0	0	0,028492

Tabela 18. Secagem da torta de mamona tratada a 3% de hidróxido de cálcio a 80°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	57,32007	125,9244	55,73740	1	1	1
2	120,96	57,32007	111,0256	52,61238	0,942496	0,860342	0,881611
4	109,72	57,32007	91,41638	47,75787	0,853167	0,722853	0,725793
6	99,84	57,32007	74,17984	42,58807	0,758036	0,584419	0,588828
8	90,09	57,32007	57,17009	36,37466	0,643701	0,447807	0,453666
10	87,97	57,32007	53,47156	34,84135	0,615486	0,418103	0,424276
12	82,04	57,32007	43,12614	30,13156	0,528820	0,335015	0,342070
14	75,72	57,32007	32,10033	24,29996	0,421511	0,246462	0,254457
16	70,74	57,32007	23,41228	18,97078	0,323448	0,176685	0,185420
18	67,92	57,32007	18,49253	15,60650	0,261541	0,137172	0,146327
20	65,34	57,32007	13,99149	12,27416	0,200221	0,101023	0,110560
22	63,19	57,32007	10,24062	9,289339	0,145297	0,070898	0,080755
24	61,5	57,32007	7,292268	6,796639	0,099428	0,047219	0,057327
34	59,01	57,32007	2,948240	2,863808	0,027059	0,012330	0,022809
53	58,13	57,32007	1,413001	1,393313	0	0	0,010609

Tabela 19. Secagem da torta de mamona tratada a 4% de hidróxido de cálcio a 80°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	57,32007	125,9244	55,73740	1	1	1
2	120,33	57,32007	109,9265	52,36428	0,935385	0,86915	0,872878
4	113,5	57,32007	98,01093	49,49774	0,880474	0,771689	0,778194
6	103,5	57,32007	80,56504	44,61829	0,787004	0,628995	0,639566
8	94,92	57,32007	65,59646	39,61223	0,691109	0,506564	0,520623
10	87,7	57,32007	53,00052	34,64074	0,595875	0,403539	0,420533
12	81,51	57,32007	42,20151	29,67726	0,500796	0,315211	0,334722
14	78	57,32007	36,07800	26,51273	0,440176	0,265126	0,286064
16	73,06	57,32007	27,45973	21,54384	0,344993	0,194635	0,217582
18	70,86	57,32007	23,62163	19,10801	0,298332	0,163242	0,187083
20	68,28	57,32007	19,12059	16,05145	0,239782	0,126427	0,151317
22	66,28	57,32007	15,63141	13,51831	0,191257	0,097888	0,123592
24	64,87	57,32007	13,17154	11,63856	0,155249	0,077768	0,104045
34	62,3	57,32007	8,687940	7,993472	0,085424	0,041096	0,068417
53	59,42	57,32007	3,663522	3,534051	0	0	0,028492

Tabela 20. Secagem da torta de mamona tratada a 5% de hidróxido de cálcio a 80°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,50	57,32007	125,9244	55,73740	1	1	1
2	121,85	57,32007	112,5783	52,95850	0,948368	0,862344	0,893949
4	112,66	57,32007	96,54548	49,12119	0,877070	0,763017	0,76655
6	107,74	57,32007	87,96210	46,79778	0,833901	0,69378	0,698345
8	100,6	57,32007	75,50573	43,02180	0,763743	0,593301	0,599364
10	91,39	57,32007	59,43806	37,27972	0,657054	0,463693	0,471687
12	89,35	57,32007	55,87909	35,84771	0,630448	0,434985	0,443407
14	82,88	57,32007	44,59160	30,83969	0,537398	0,343935	0,353715
16	76,11	57,32007	32,78072	24,68786	0,423096	0,248663	0,259863
18	71,44	57,32007	24,63349	19,76474	0,331624	0,182944	0,195124
20	65,44	57,32007	14,16595	12,40821	0,194939	0,098508	0,111947
22	62,28	57,32007	8,653048	7,963926	0,112364	0,054039	0,06814
24	59,89	57,32007	4,483479	4,291089	0,044122	0,020405	0,035008
34	59,12	57,32007	3,140145	3,044542	0,020961	0,009569	0,024334
53	58,44	57,32007	1,953824	1,916381	0	0	0,014907

Tabela 21. Secagem da torta de mamona tratada a 1% de hidróxido de cálcio a 90°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	57,8865	123,7136	55,300	1	1	1
2	117,8	57,8865	103,6399	50,8937	0,91966	0,837141	0,90901
4	103,5	57,8865	78,82720	44,0818	0,79546	0,635879	0,69053
6	91,27	57,8865	57,67061	36,5766	0,65862	0,464191	0,50500
8	81,92	57,8865	41,51832	29,3377	0,52664	0,333146	0,36340
10	73,45	57,8865	26,88632	21,1892	0,37807	0,214436	0,23512
12	67,37	57,8865	16,38292	14,0767	0,24839	0,129222	0,14304
14	64,19	57,8865	10,88941	9,82006	0,17078	0,084653	0,09488
16	62,07	57,8865	7,227074	6,73997	0,11462	0,054944	0,06277
20	61,00	57,8865	5,978629	5,10409	0,08479	0,039943	0,04657
25	60,40	57,8865	4,342118	4,16142	0,06761	0,031535	0,03748
35	58,15	57,8865	0,455201	0,45313	0	0	0,00341
45	58,15	57,8865	0,455201	0,45313	0	0	0,00341

Tabela 22. Secagem da torta de mamona tratada a 2% de hidróxido de cálcio a 90°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	56,462	129,3578	56,4	1	1	1
2	115,8	56,462	105,0937	51,2418	0,908347	0,812252	0,866759
4	96,16	56,462	70,30923	41,28328	0,731400	0,543100	0,579693
6	92,39	56,462	63,63218	38,88733	0,688828	0,491435	0,524590
8	81,21	56,462	43,83125	30,47408	0,539338	0,338221	0,361179
10	73,93	56,462	30,93762	23,62776	0,417690	0,238454	0,254772
12	68,59	56,462	21,47993	17,68188	0,312041	0,165273	0,176721
14	63,42	56,462	12,32333	10,97130	0,192805	0,094422	0,101154
16	62,49	56,462	10,67621	9,646343	0,169263	0,081677	0,087561
18	60,33	56,462	6,850625	6,411404	0,111783	0,052076	0,055989
20	58,12	56,462	2,936488	2,852719	0,048551	0,02179	0,023687
25	58,02	56,462	2,759378	2,685281	0,045576	0,020419	0,022226
35	57,75	56,462	2,281180	2,230303	0,037492	0,016719	0,018279
45	56,53	56,462	0,120435	0,12029	0	0	0,000447

Tabela 23. Secagem da torta de mamona tratada a 3% de hidróxido de cálcio a 90°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	56,462	129,3578	56,4000	1	1	1
2	118,8	56,462	110,4070	52,47306	0,927507	0,830871	0,910608
4	109,16	56,462	93,33357	48,27593	0,850025	0,716516	0,769706
6	100,39	56,462	77,80100	43,75735	0,76661	0,594286	0,641521
8	91,21	56,462	61,54228	38,09670	0,662112	0,466341	0,507342
10	83,93	56,462	48,64865	32,72727	0,562989	0,364878	0,400935
12	78,59	56,462	39,19096	28,15625	0,478606	0,290453	0,322884
14	73,42	56,462	30,03436	23,09725	0,385214	0,218397	0,247318
16	69,49	56,462	23,07393	18,74802	0,304925	0,163624	0,189875
18	66,33	56,462	17,47724	14,87713	0,233467	0,119582	0,143688
20	62,12	56,462	10,02090	9,108178	0,126969	0,060906	0,082153
25	60,03	56,462	6,319294	5,943695	0,068551	0,031777	0,051605
35	58,02	56,462	2,759378	2,685281	0,008399	0,003763	0,022226
45	57,75	56,462	2,281180	2,230303	0	0	0,018279

Tabela 24. Secagem da torta de mamona tratada a 4% de hidróxido de cálcio a 90°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	56,462	129,3578	56,4	1	1	1
2	117,8	56,462	108,6359	52,06961	0,921791	0,838509	0,895991
4	108,16	56,462	91,56247	47,79771	0,844638	0,705452	0,755090
6	101,39	56,462	79,57210	44,31206	0,781685	0,612008	0,656137
8	98,21	56,462	73,94000	42,50891	0,749119	0,568116	0,609657
10	87,93	56,462	55,73306	35,78756	0,627728	0,426225	0,459401
12	81,59	56,462	44,50427	30,79789	0,537612	0,338716	0,366733
14	77,42	56,462	37,11877	27,07052	0,470294	0,281159	0,305783
16	69,49	56,462	23,07393	18,74802	0,319985	0,171705	0,189875
18	65,33	56,462	15,70614	13,57416	0,226542	0,114286	0,129071
20	62,99	56,462	11,56176	10,36355	0,168557	0,081988	0,094869
25	59,03	56,462	4,548192	4,350330	0,059955	0,027329	0,036988
35	58,89	56,462	4,300237	4,122941	0,055848	0,025397	0,034942
45	57,05	56,462	1,041408	1,030675	0	0	0,008048

Tabela 25. Secagem da torta de mamona tratada a 5% de hidróxido de cálcio a 90°C

Tempo	Peso liq	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD	RUBSE
0	129,5	56,462	129,3578	56,4000	1	1	1
2	118,8	56,462	110,4070	52,47306	0,927507	0,850871	0,910608
4	109,16	56,462	93,33357	48,27593	0,850025	0,716516	0,769706
6	100,39	56,462	77,80100	43,75735	0,76661	0,594286	0,641521
8	91,21	56,462	61,54228	38,09670	0,662112	0,466341	0,507342
10	83,93	56,462	48,64865	32,72727	0,562989	0,364878	0,400935
12	78,59	56,462	39,19096	28,15625	0,478606	0,290453	0,322884
14	73,42	56,462	30,03436	23,09725	0,385214	0,218397	0,247318
16	69,49	56,462	23,07393	18,74802	0,304925	0,163624	0,189875
18	66,33	56,462	17,47724	14,87713	0,233467	0,119582	0,143688
20	62,12	56,462	10,02090	9,108178	0,126969	0,060906	0,082153
25	60,03	56,462	6,319294	5,943695	0,068551	0,031777	0,051605
35	58,02	56,462	2,759378	2,685281	0,008399	0,003763	0,022226
45	57,75	56,462	2,281180	2,230303	0	0	0,018279

APÊNDICE B

Tabela 1. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 50°C – amostra 1

Tempo	Amostra 1	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	182,208	128,3105	56,2	1	1
15	390,73	182,208	114,4417	53,36729	0,943902	0,886565
30	357,23	182,208	96,05616	48,99421	0,857299	0,736185
45	333,13	182,208	82,82951	45,30424	0,784225	0,628002
60	303,63	182,208	66,63923	39,99012	0,678986	0,495578
75	293,63	182,208	61,15099	37,9464	0,638513	0,450689
90	287,93	182,208	58,0227	36,71795	0,614186	0,425102
105	259,41	182,208	42,37026	29,76061	0,476405	0,297078
120	231,45	182,208	27,02516	21,27544	0,308369	0,171567
135	219,83	182,208	20,64783	17,11413	0,22596	0,119406
150	211,05	182,208	15,82916	13,66596	0,157674	0,079993
165	202,43	182,208	11,09831	9,989626	0,084869	0,041298
180	197,73	182,208	8,518836	7,850099	0,042499	0,0202
210	195,23	182,208	7,146777	6,670081	0,01913	0,008978
240	194,09	182,208	6,521119	6,121902	0,008274	0,00386
270	193,75	182,208	6,334519	5,957161	0,005012	0,002334
330	193,6	182,208	6,252195	5,884298	0,003569	0,001661
390	193,54	182,208	6,219266	5,85512	0,002991	0,001392
450	193,28	182,208	6,076572	5,728477	0,000483	0,000224
510	193,23	182,208	6,049131	5,704083	0	0

Tabela 2. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 50°C – amostra 2

Tempo	Amostra 2	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	180,4608	130,521	56,62	1	1
15	403,82	180,4608	123,7716	55,31157	0,973908	0,945393
30	380,52	180,4608	110,8602	52,57521	0,919342	0,840933
45	365,02	180,4608	102,2711	50,56139	0,879184	0,771441
60	344,12	180,4608	90,68961	47,55876	0,819307	0,67774
75	312,02	180,4608	72,90182	42,16371	0,711723	0,533826
90	301,92	180,4608	67,30503	40,22893	0,673141	0,488545
105	283,71	180,4608	57,2142	36,39251	0,596638	0,406904
120	261,4	180,4608	44,8514	30,96373	0,488381	0,306882
135	251,72	180,4608	39,48736	28,30891	0,435441	0,263484
150	241,31	180,4608	33,71879	25,21619	0,373768	0,216812
165	227,62	180,4608	26,13266	20,71839	0,284076	0,155436
180	216,71	180,4608	20,08702	16,72705	0,204484	0,106523
210	207,42	180,4608	14,93909	12,9974	0,130109	0,064873
240	202,2	180,4608	12,04649	10,75134	0,08532	0,041471
270	195,24	180,4608	8,189701	7,56976	0,021875	0,010267

330	193,88	180,4608	7,436075	6,921395	0,008946	0,004169
390	193,66	180,4608	7,314165	6,815656	0,006838	0,003183
450	193,62	180,4608	7,291999	6,796405	0,006454	0,003004
510	193,51	180,4608	7,231044	6,743424	0,005397	0,002511
570	193,32	180,4608	7,125758	6,651769	0,00357	0,001659
630	193,02	180,4608	6,959517	6,506683	0,000676	0,000314
690	192,95	180,4608	6,920727	6,472765	0	0

Tabela 3. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 50°C – amostra 3

Tempo	Amostra 3	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	179,712	131,4815	56,8	1	1
15	405,88	179,712	125,8502	55,72287	0,978875	0,955062
30	388,38	179,712	116,1124	53,72779	0,939747	0,877353
45	375,18	179,712	108,7674	52,09979	0,907819	0,818739
60	357,78	179,712	99,0852	49,77025	0,862131	0,741474
75	339,28	179,712	88,79095	47,03136	0,808416	0,659325
90	330,68	179,712	84,00552	45,6538	0,781399	0,621137
105	310,87	179,712	72,98233	42,19063	0,713478	0,533171
120	290,18	179,712	61,46946	38,06878	0,63264	0,441297
135	280,08	179,712	55,84936	35,83548	0,58884	0,396448
150	269,81	179,712	50,13466	33,39313	0,54094	0,350844
165	254,32	179,712	41,51531	29,33627	0,461376	0,28206
180	241,18	179,712	34,20361	25,48636	0,385871	0,223712
210	227,97	179,712	26,85296	21,16857	0,301189	0,165053
240	219,35	179,712	22,0564	18,07066	0,240433	0,126776
270	203,7	179,712	13,34802	11,77614	0,116983	0,057282
330	196,61	179,712	9,402822	8,59468	0,054588	0,025799
390	193,67	179,712	7,766871	7,207105	0,027374	0,012744
450	192,31	179,712	7,010105	6,550881	0,014504	0,006705
510	191,91	179,712	6,787527	6,356104	0,010684	0,004929
570	191,42	179,712	6,514868	6,116393	0,005983	0,002753
630	191,28	179,712	6,436966	6,047679	0,004636	0,002131
690	190,8	179,712	6,169872	5,811321	0	0

Tabela 4. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 50°C – amostra 4

Tempo	Amostra 4	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	180,4608	130,521	56,62	1	1
15	409,5	180,4608	126,9191	55,93143	0,986395	0,970982
30	406,2	180,4608	125,0904	55,57341	0,979321	0,95625
45	397,6	180,4608	120,3249	54,61247	0,960333	0,917857

60	392,2	180,4608	117,3325	53,98756	0,947986	0,89375
75	388,5	180,4608	115,2822	53,54934	0,939327	0,877232
90	380,3	180,4608	110,7383	52,54778	0,919537	0,840625
105	370	180,4608	105,0307	51,22681	0,893436	0,794643
120	364,2	180,4608	101,8167	50,45008	0,878089	0,76875
135	359,8	180,4608	99,37848	49,84414	0,866116	0,749107
150	350,08	180,4608	93,99227	48,45155	0,8386	0,705714
165	340,8	180,4608	88,84988	47,04789	0,810865	0,664286
180	331,7	180,4608	83,80723	45,59518	0,782161	0,623661
210	323,9	180,4608	79,48496	44,28503	0,756274	0,588839
240	304,82	180,4608	68,91203	40,79759	0,687366	0,503661
270	289,36	180,4608	60,34507	37,6345	0,624867	0,434643
330	275,58	180,4608	52,70906	34,516	0,563248	0,373125
390	242,35	180,4608	34,29509	25,53712	0,385835	0,224777
450	211,76	180,4608	17,34404	14,78051	0,173296	0,088214
510	202,07	180,4608	11,97446	10,69392	0,092549	0,044955
570	196,36	180,4608	8,810334	8,096965	0,041236	0,019464
630	192,55	180,4608	6,699073	6,278473	0,005305	0,002455
690	192,00	180,4608	6,394297	6,01	0	0

Tabela 5. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 50°C – amostra 1

Tempo	Amostra 1	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	182,4576	127,9982	56,14	1	1
15	407,84	182,4576	123,5259	55,26246	0,983107	0,963823
30	394,84	182,4576	116,401	53,78948	0,954753	0,906189
45	381,34	182,4576	109,002	52,15356	0,923262	0,846338
60	369,54	182,4576	102,5347	50,62575	0,893852	0,794024
75	355,34	182,4576	94,7521	48,65267	0,85587	0,731069
90	340,64	182,4576	86,69543	46,43682	0,813215	0,665898
105	328,14	182,4576	79,84452	44,39642	0,773938	0,610481
120	313,89	182,4576	72,03449	41,87212	0,725345	0,547304
135	300,01	182,4576	64,42176	39,1808	0,673538	0,485724
150	299,48	182,4576	64,13676	39,0752	0,671505	0,483419
165	260,62	182,4576	42,83866	29,99094	0,496634	0,311137
180	232,84	182,4576	27,61321	21,63821	0,335845	0,187977
210	221,51	182,4576	21,40355	17,63008	0,25869	0,137746
240	204,95	182,4576	12,32747	10,97458	0,130572	0,064329
270	194,7	182,4576	6,709723	6,287827	0,040353	0,018886
330	192,58	182,4576	5,547809	5,256205	0,020494	0,009487
390	191,87	182,4576	5,158678	4,905613	0,013745	0,00634
450	190,87	182,4576	4,610605	4,407398	0,004155	0,001906

510	190,74	182,4576	4,539356	4,342246	0,002901	0,00133
570	190,52	182,4576	4,41878	4,231787	0,000774	0,000355
630	190,49	182,4576	4,402338	4,216704	0,000484	0,000222
690	190,44	182,4576	4,374934	4,191556	0	0

Tabela 6. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 50°C – amostra 2

Tempo	Amostra 2	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	186,6176	122,9157	55,14	1	1
15	404,2	182,4576	121,5309	54,85957	0,994331	0,988153
30	387,3	182,4576	112,2685	52,88985	0,954508	0,908917
45	371,16	182,4576	103,4226	50,84125	0,913091	0,833245
60	360	182,4576	97,30611	49,31733	0,882281	0,780921
75	345,8	182,4576	89,52348	47,23609	0,840204	0,714344
90	330,6	182,4576	81,19278	44,81016	0,791159	0,643078
105	315,49	182,4576	72,91141	42,16691	0,737719	0,572234
120	301,25	182,4576	65,10685	39,43316	0,68245	0,50547
135	284,93	182,4576	56,16231	35,96406	0,612314	0,428953
150	265,6	182,4576	45,56807	31,30361	0,518093	0,338324
165	246,97	182,4576	35,35747	26,12155	0,413325	0,250977
180	224,37	182,4576	22,97104	18,68004	0,262878	0,145016
210	215,19	182,4576	17,93973	15,21093	0,192742	0,101975
240	203,25	182,4576	11,39574	10,22996	0,09204	0,045994
270	197,43	182,4576	8,205961	7,58365	0,038539	0,018707
330	194,95	182,4576	6,846741	6,408002	0,01477	0,00708
390	193,99	182,4576	6,320592	5,944843	0,005407	0,002579
450	193,7	182,4576	6,161651	5,804027	0,00256	0,001219
510	193,6	182,4576	6,106843	5,755372	0,001576	0,00075
570	193,46	182,4576	6,030113	5,68717	0,000197	9,38E-05
630	193,44	182,4576	6,019152	5,677419	0	0

Tabela 7. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 50°C – amostra 3

Tempo	Amostra 3	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	186,6176	122,9157	55,14	1	1
15	398,92	186,6176	113,7633	53,21929	0,960823	0,921374
30	378,62	186,6176	102,8855	50,71111	0,909663	0,827924
45	358,72	186,6176	92,22196	47,97681	0,853891	0,736316
60	343,82	186,6176	84,23771	45,7223	0,807905	0,667725
75	326,42	186,6176	74,91383	42,82899	0,748889	0,587626
90	308,97	186,6176	65,56316	39,60009	0,683028	0,507296
105	295,37	186,6176	58,27553	36,81904	0,626303	0,44469

120	280,66	186,6176	50,3931	33,50759	0,558758	0,376974
135	267,85	186,6176	43,5288	30,32757	0,493895	0,318004
150	255,37	186,6176	36,84133	26,92266	0,424444	0,260553
165	241,76	186,6176	29,54834	22,80874	0,340531	0,197901
180	225	186,6176	20,56741	17,05884	0,223249	0,120748
210	214,53	186,6176	14,957	13,01095	0,140683	0,07255
240	204,15	186,6176	9,394827	8,587999	0,050467	0,024766
270	201,08	186,6176	7,749751	7,192361	0,022	0,010634
330	199,82	186,6176	7,074574	6,607146	0,010063	0,004834
390	199,3	186,6176	6,795929	6,363472	0,005093	0,00244
450	198,88	186,6176	6,57087	6,165728	0,001059	0,000506
510	198,84	186,6176	6,549436	6,146852	0,000674	0,000322
570	198,82	186,6176	6,538719	6,137411	0,000482	0,00023
630	198,77	186,6176	6,511926	6,1138	0	0

Tabela 8. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 50°C – amostra 4

Tempo	Amostra 4	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	181,4592	129,2526	56,38	1	1
15	414,68	181,4592	128,5252	56,24115	0,997115	0,993951
30	410,98	181,4592	126,4862	55,84719	0,988929	0,976996
45	407,68	181,4592	124,6676	55,4898	0,981503	0,961873
60	402,78	181,4592	121,9673	54,94831	0,970252	0,939419
75	398,88	181,4592	119,818	54,50782	0,9611	0,921547
90	394,38	181,4592	117,3381	53,98874	0,950315	0,900926
105	390,08	181,4592	114,9684	53,48154	0,939776	0,881221
120	384,08	181,4592	111,6619	52,75484	0,924677	0,853726
135	377,78	181,4592	108,1901	51,96696	0,908306	0,824856
150	370,38	181,4592	104,112	51,00729	0,888366	0,790945
165	363,88	181,4592	100,5299	50,13213	0,870182	0,761158
180	352,28	181,4592	94,1373	48,49006	0,836064	0,708001
210	345,68	181,4592	90,50012	47,5066	0,815629	0,677756
240	333,38	181,4592	83,72174	45,56986	0,775388	0,621391
270	322,18	181,4592	77,54955	43,6777	0,736072	0,570067
330	311,47	181,4592	71,6474	41,74103	0,695833	0,520988
390	300,34	181,4592	65,51379	39,58207	0,650974	0,469984
450	262,12	181,4592	44,4512	30,77247	0,467929	0,29484
510	261,96	181,4592	44,36303	30,73019	0,46705	0,294107
570	248,93	181,4592	37,18235	27,10433	0,391712	0,234396
630	228,62	181,4592	25,98975	20,62847	0,257157	0,141325
690	212,84	181,4592	17,29358	14,74385	0,134887	0,069013
750	203,68	181,4592	12,24562	10,90966	0,055381	0,02878

810	200,48	181,4592	10,48214	9,48763	0,025961	0,013426
870	199,28	181,4592	9,82083	8,942593	0,01462	0,00763
930	199,08	181,4592	9,710613	8,851115	0,01283	0,00676
990	197,78	181,4592	8,994198	8,251997	0	0

Tabela 9. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 50°C – amostra 1

Tempo	Amostra 1	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	170,6765	143,736	58,972	1	1
15	394,1	170,6765	130,9047	56,69209	0,956423	0,906073
30	373,2	170,6765	118,6593	54,26675	0,910067	0,816435
45	348,02	170,6765	103,9062	50,95785	0,846823	0,708441
60	326	170,6765	91,00464	47,64525	0,783508	0,613999
75	298,2	170,6765	74,71652	42,76443	0,690219	0,494768
90	292,2	170,6765	71,20109	41,58916	0,667756	0,469034
105	286,7	170,6765	67,97862	40,46862	0,646338	0,445445
120	278,1	170,6765	62,93985	38,62766	0,611151	0,408561
135	252,6	170,6765	47,9993	32,43211	0,492734	0,299194
150	227,23	170,6765	33,13492	24,88823	0,348545	0,190384
165	209,9	170,6765	22,98121	18,68677	0,230014	0,116058
180	198,42	170,6765	16,25503	13,98222	0,140095	0,066821
210	191,08	170,6765	11,9545	10,678	0,07694	0,035341
240	187,4	170,6765	9,798374	8,92397	0,043414	0,019557
270	184,74	170,6765	8,23987	7,612601	0,01835	0,008149
330	183,99	170,6765	7,800442	7,236002	0,011152	0,004932
390	183,41	170,6765	7,460618	6,942653	0,005545	0,002445
450	183,2	170,6765	7,337578	6,835983	0,003506	0,001544
510	183,06	170,6765	7,255552	6,764733	0,002144	0,000944
570	183	170,6765	7,220397	6,734164	0,00156	0,000686
630	182,84	170,6765	7,126653	6,652549	0	0

Tabela 10. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio 50°C – amostra 2

Tempo	Amostra 2	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	170,6765	143,736	58,972	1	1
15	366,36	170,6765	114,6517	53,41291	0,893923	0,787254
30	354,56	170,6765	107,7381	51,86245	0,864338	0,736682
45	350,56	170,6765	105,3944	51,31319	0,853857	0,719539
60	346,46	170,6765	102,9922	50,73703	0,842863	0,701967
75	343,36	170,6765	101,1759	50,29226	0,834376	0,688681
90	332,06	170,6765	94,55522	48,60071	0,802099	0,640252
105	313,46	170,6765	83,65741	45,55079	0,743901	0,560537

120	297,01	170,6765	74,01929	42,53511	0,686357	0,490036
135	281,96	170,6765	65,20144	39,46784	0,627828	0,425535
150	266,46	170,6765	56,11993	35,94668	0,560638	0,359105
165	234,85	170,6765	37,59951	27,32532	0,396129	0,223632
180	210,7	170,6765	23,44993	18,9955	0,237182	0,12013
210	196,91	170,6765	15,37032	13,32259	0,128933	0,061029
240	190,06	170,6765	11,35688	10,19863	0,069323	0,031672
270	185,84	170,6765	8,884364	8,159449	0,030412	0,013586
330	184,71	170,6765	8,222293	7,597596	0,019691	0,008743
390	183,4	170,6765	7,454759	6,937579	0,007097	0,003129
450	183,17	170,6765	7,320001	6,820724	0,004867	0,002143
510	182,96	170,6765	7,196961	6,713774	0,002826	0,001243
570	182,86	170,6765	7,138371	6,662758	0,001852	0,000814
630	182,78	170,6765	7,091498	6,621906	0,001073	0,000471
690	182,67	170,6765	7,027049	6,565676	0	0

Tabela 11. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 50°C- amostra 3

Tempo	Amostra 3	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	170,6765	143,736	58,972	1	1
15	406,42	170,6765	138,123	58,0049	0,981252	0,958655
30	397,7	170,6765	133,0139	57,08411	0,963402	0,921022
45	384,5	170,6765	125,28	55,6108	0,934841	0,864054
60	372,5	170,6765	118,2492	54,18081	0,90712	0,812265
75	358,4	170,6765	109,9879	52,37821	0,872176	0,751413
90	347,4	170,6765	103,543	50,87033	0,842945	0,70394
105	334,52	170,6765	95,99654	48,97869	0,806275	0,648354
120	321,4	170,6765	88,30948	46,89593	0,7659	0,591731
135	308,48	170,6765	80,73961	44,67178	0,722783	0,535972
150	296,94	170,6765	73,97828	42,52156	0,6811	0,486168
165	270,6	170,6765	58,54557	36,92665	0,57264	0,372491
180	244,5	170,6765	43,25348	30,19367	0,442118	0,259851
210	222,16	170,6765	30,16439	23,17407	0,30604	0,163437
240	205,13	170,6765	20,18645	16,79594	0,182397	0,08994
270	193,18	170,6765	13,1849	11,64899	0,082621	0,038367
330	188,56	170,6765	10,47802	9,48426	0,040656	0,018428
390	185,87	170,6765	8,901941	8,174272	0,015261	0,006819
450	185,45	170,6765	8,655862	7,966309	0,01123	0,005006
510	185,05	170,6765	8,4215	7,767371	0,007373	0,00328
570	184,58	170,6765	8,146125	7,532517	0,002821	0,001252
630	184,44	170,6765	8,064099	7,462329	0,00146	0,000647
690	184,29	170,6765	7,976213	7,38701	0	0

Tabela 12 Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 50°C- amostra 4

Tempo	Amostra 4	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	170,9876	143,2924	58,8972	1	1
15	414,75	170,9876	142,5614	58,77332	0,997641	0,994644
30	413,63	170,9876	141,9064	58,66169	0,995516	0,989844
45	411,73	170,9876	140,7952	58,47093	0,991884	0,981703
60	410,63	170,9876	140,1519	58,35968	0,989766	0,976989
75	406,69	170,9876	137,8476	57,95627	0,982085	0,960106
90	403,23	170,9876	135,8241	57,5955	0,975216	0,94528
105	397,63	170,9876	132,549	56,9983	0,963846	0,921284
120	394,43	170,9876	130,6775	56,64943	0,957204	0,907572
135	389,75	170,9876	127,9404	56,12889	0,947293	0,887518
150	387,33	170,9876	126,5251	55,85479	0,942074	0,877148
165	379,53	170,9876	121,9634	54,94753	0,9248	0,843725
180	371,13	170,9876	117,0508	53,92783	0,905386	0,80773
210	359,63	170,9876	110,3251	52,45456	0,877335	0,758452
240	350,13	170,9876	104,7692	51,16453	0,852774	0,717744
270	338,13	170,9876	97,75113	49,43139	0,819776	0,666324
330	327,28	170,9876	91,40564	47,75494	0,787857	0,619831
390	310,28	170,9876	81,4634	44,89247	0,733357	0,546985
450	297,87	170,9876	74,20557	42,59655	0,689644	0,493808
510	277,93	170,9876	62,5439	38,47816	0,611232	0,408364
570	265,83	170,9876	55,46737	35,67782	0,557914	0,356515
630	253,53	170,9876	48,27387	32,55723	0,4985	0,303809
690	225,72	170,9876	32,00954	24,2479	0,340294	0,184642
750	203,34	170,9876	18,92087	15,91047	0,181554	0,090833
810	199,18	170,9876	16,48795	14,15421	0,148116	0,073864
870	191,27	170,9876	11,86188	10,60404	0,080522	0,039166
930	183,93	170,9876	7,569174	7,036564	0,012599	0,006047
990	182,66	170,9876	6,82643	6,390207	0,000293	0,000142
1050	182,63	170,9876	6,808885	6,37483	0	0

Tabela 13. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 70°C -amostra 1

Tempo	Amostra 1	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	183,04	127,2727	56	1	1
15	361,31	183,04	97,39401	49,3399	0,872425	0,75773
30	306,11	183,04	67,23667	40,2045	0,697434	0,513201
45	258,97	183,04	41,48274	29,32	0,48894	0,304377
60	219,55	183,04	19,94646	16,62947	0,24585	0,129751
75	200,56	183,04	9,571678	8,73554	0,094641	0,045628
90	193,11	183,04	5,50153	5,214645	0,027197	0,012625

105	190,89	183,04	4,28868	4,112316	0,006082	0,002791
135	190,69	183,04	4,179414	4,011747	0,004156	0,001905
165	190,49	183,04	4,070149	3,910966	0,002225	0,001019
225	190,4	183,04	4,020979	3,865546	0,001355	0,00062
285	190,26	183,04	3,944493	3,794807	0	0

Tabela 14 Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 70°C -amostra 2

Tempo	Amostra 2	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	179,296	132,0186	56,9	1	1
15	378,22	179,296	110,9473	52,59479	0,919087	0,835618
30	344,12	179,296	91,92843	47,89725	0,8308	0,687247
45	312,68	179,296	74,39318	42,65831	0,732338	0,55045
60	283,68	179,296	58,21881	36,79639	0,622167	0,42427
75	255,85	179,296	42,69699	29,92144	0,492957	0,303181
90	230,46	179,296	28,53605	22,20082	0,347854	0,192708
105	210,13	179,296	17,19726	14,67377	0,206388	0,104251
135	199,03	179,296	11,00638	9,915088	0,116952	0,055954
165	193,47	179,296	7,905363	7,3262	0,068296	0,031763
225	187,85	179,296	4,770882	4,553633	0,016188	0,00731
285	186,17	179,296	3,833884	3,692324	0	0

Tabela 15. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 70°C -amostra 3

Tempo	Amostra 3	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	182,7268	127,6623	56,0753	1	1
15	384,47	182,7268	110,4071	52,47308	0,932208	0,861553
30	351,67	182,7268	92,45677	48,04028	0,848784	0,717529
45	325,84	182,7268	78,32091	43,92133	0,771267	0,60411
60	271,83	182,7268	48,76311	32,77903	0,561574	0,366954
75	269,13	182,7268	47,28549	32,10465	0,548882	0,355098
90	247,77	182,7268	35,59591	26,25146	0,438728	0,261307
105	227,58	182,7268	24,54662	19,70878	0,315597	0,172653
135	213,11	182,7268	16,6277	14,25707	0,212999	0,109116
165	201,78	182,7268	10,42718	9,442585	0,122392	0,059366
225	192,84	182,7268	5,534629	5,244373	0,043383	0,020111
285	188,5	182,7268	3,159498	3,062731	0,002326	0,001054
345	188,36	182,7268	3,082881	2,990682	0,00104	0,000439
406	188,26	182,7268	3,028154	2,939152	0	0

Tabela 16. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 70°C- amostra 4

Tempo	Amostra 4	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	182,7268	127,6623	56,0753	1	1
15	409,8	182,7268	124,2693	55,41075	0,987636	0,972916
30	400	182,7268	118,9061	54,31831	0,967311	0,930107
45	384,42	182,7268	110,3797	52,4669	0,932865	0,862048
60	367,8	182,7268	101,2842	50,31899	0,892903	0,789446
75	358,3	182,7268	96,08514	49,00174	0,868395	0,747947
90	338,8	182,7268	85,41346	46,06648	0,813784	0,662764
105	325,83	182,7268	78,31543	43,9196	0,773841	0,606107
135	311,06	182,7268	70,23233	41,25675	0,724298	0,541587
165	298,35	182,7268	63,27658	38,75423	0,677738	0,486065
225	278,99	182,7268	52,68153	34,50419	0,598665	0,401494
285	255,39	182,7268	39,76607	28,45188	0,48606	0,298401
345	226,95	182,7268	24,20185	19,4859	0,319246	0,174166
405	209,02	182,7268	14,38938	12,5793	0,190747	0,095841
465	190,1	182,7268	4,035122	3,878615	0,028869	0,013192
525	187,08	182,7268	2,382381	2,326945	0	0

Tabela 17. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 70°C- amostra 1

Tempo	Amostra 1	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	183,4726	126,7368	55,896	1	1
15	375,3	183,4726	104,5537	51,11307	0,910753	0,821648
30	333,4	183,4726	81,71647	44,96921	0,796111	0,638037
45	307,29	183,4726	67,48546	40,29333	0,708861	0,52362
60	282,06	183,4726	53,73409	34,95262	0,609205	0,413059
75	255,74	183,4726	39,38863	28,25814	0,484289	0,297721
90	232,54	183,4726	26,74369	21,10061	0,350732	0,196056
105	214,52	183,4726	16,92207	14,47294	0,227063	0,11709
135	201,19	183,4726	9,656677	8,806283	0,121325	0,058677
165	193,78	183,4726	5,617928	5,319104	0,056256	0,026205
225	190,68	183,4726	3,928302	3,77982	0,027534	0,012621
285	189,09	183,4726	3,061688	2,970734	0,012437	0,005653
345	188,4	183,4726	2,68561	2,615372	0,005806	0,002629
405	188,12	183,4726	2,532999	2,470423	0,003101	0,001402
465	187,9	183,4726	2,41309	2,356232	0,00097	0,000438
525	187,8	183,4726	2,358586	2,304239	0	0

Tabela 18. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 70°C- amostra 2

Tempo	Amostra 2	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	178,6741	132,8262	57,0495	1	1
15	389,3	178,6741	117,8828	54,10376	0,946102	0,885378
30	357,6	178,6741	100,1409	50,03521	0,871659	0,749292
45	336,3	178,6741	88,2198	46,87063	0,813757	0,657852
60	317,8	178,6741	77,86575	43,77782	0,757167	0,578432
75	298,83	178,6741	67,24866	40,20879	0,691865	0,496995
90	279,5	178,6741	56,43008	36,07367	0,616204	0,414012
105	254,45	178,6741	42,41014	29,78028	0,501054	0,306474
135	232,69	178,6741	30,23154	23,21368	0,380904	0,213059
165	215,18	178,6741	20,43157	16,96529	0,266577	0,13789
225	203,16	178,6741	13,70424	12,05253	0,176688	0,086288
285	194,68	178,6741	8,958166	8,221656	0,106594	0,049884
345	188,86	178,6741	5,700838	5,393371	0,054845	0,024899
405	184,61	178,6741	3,322205	3,215384	0,014994	0,006654
465	183,06	178,6741	2,454704	2,395892	0	0

Tabela 19. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 70°C- amostra 3

Tempo	Amostra 3	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	183,872	126,2443	55,8	1	1
15	394,27	183,872	114,4263	53,36394	0,956343	0,906388
30	370,67	183,872	101,5913	50,39469	0,903131	0,80472
45	354,77	183,872	92,944	48,17149	0,863288	0,736223
60	339,87	183,872	84,84054	45,89931	0,822568	0,672034
75	319,77	183,872	73,90902	42,49867	0,761625	0,585444
90	295,43	183,872	60,67155	37,76123	0,676725	0,480588
105	271,59	183,872	47,70601	32,29795	0,578816	0,377886
135	248,68	183,872	35,24626	26,0608	0,467039	0,279191
165	229	183,872	24,54316	19,70655	0,353164	0,19441
225	215,83	183,872	17,38057	14,80702	0,265359	0,137674
285	205,08	183,872	11,53411	10,34133	0,185328	0,091363
345	197,42	183,872	7,368169	6,862527	0,122984	0,058364
405	189,52	183,872	3,071702	2,98016	0,053408	0,024331
465	186,29	183,872	1,315045	1,297976	0,023261	0,010417
525	185,41	183,872	0,836451	0,829513	0,014866	0,006626
585	185,31	183,872	4,64589	4,4396	0	0

Tabela 20. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 70°C- amostra 4

Tempo	Amostra 4	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	180,2528	130,787	56,67	1	1
15	411,36	180,2528	128,2128	56,18125	0,990619	0,979569
30	402,96	180,2528	123,5527	55,26782	0,973085	0,942583
45	397,86	180,2528	120,7233	54,69442	0,962079	0,920127
60	393	180,2528	118,0271	54,13415	0,951325	0,898727
75	386,56	180,2528	114,4544	53,37003	0,936658	0,870371
90	380,66	180,2528	111,1812	52,6473	0,922785	0,844393
105	369,46	180,2528	104,9677	51,21182	0,895231	0,795077
135	358,96	180,2528	99,14254	49,78471	0,867838	0,748844
165	346,36	180,2528	92,15235	47,95796	0,832774	0,693364
225	336,36	180,2528	86,60459	46,41075	0,803076	0,649333
285	325,13	180,2528	80,37445	44,55978	0,767546	0,599886
345	314,48	180,2528	74,46608	42,68227	0,731508	0,552992
405	291,93	180,2528	61,95588	38,25479	0,646523	0,453701
465	269,94	180,2528	49,75634	33,22486	0,549975	0,356876
525	238,87	180,2528	32,51944	24,53937	0,383258	0,22007
585	227,67	180,2528	26,30594	20,82716	0,312003	0,170754
645	207,76	180,2528	15,26035	13,23989	0,166367	0,083087
705	199,66	180,2528	10,76666	9,720124	0,098806	0,047422
765	188,89	180,2528	4,791715	4,572608	0	0

Tabela 21. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 70°C-amostra 1

Tempo	Amostra 1	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	178,9382	132,4824	56,986	1	1
15	385,47	178,9382	115,4207	53,5792	0,936859	0,868104
30	352,57	178,9382	97,03446	49,24746	0,856576	0,725969
45	316,78	178,9382	77,03315	43,5134	0,750303	0,571348
60	277,19	178,9382	54,9082	35,44564	0,600777	0,400311
75	243,17	178,9382	35,89605	26,41434	0,433394	0,253337
90	220,68	178,9382	23,32747	18,91506	0,294404	0,156176
105	204,26	178,9382	14,15112	12,39683	0,173597	0,085238
135	190,25	178,9382	6,3216	5,945735	0,054034	0,024712
165	186,84	178,9382	4,415915	4,229159	0,02222	0,00998
225	185,47	178,9382	3,650287	3,521734	0,009109	0,004061
285	185,09	178,9382	3,437924	3,323659	0,005438	0,002419
345	184,8	178,9382	3,275857	3,171948	0,002626	0,001166
405	184,76	178,9382	3,253502	3,150985	0,002237	0,000994
465	184,62	178,9382	3,175263	3,077543	0,000876	0,000389
525	184,53	178,9382	3,124966	3,030272	0	0

Tabela 22. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 70°C- amostra 2

Tempo	Amostra 2	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	183,7613	126,3806	55,8266	1	1
15	397,09	183,7613	116,0901	53,723	0,962319	0,918575
30	373,28	183,7613	103,133	50,77118	0,909444	0,816051
45	349,28	183,7613	90,07262	47,38853	0,848852	0,712709
60	321,07	183,7613	74,72119	42,76596	0,76605	0,591239
75	289,52	183,7613	57,55218	36,52896	0,654329	0,455388
90	267,71	183,7613	45,68352	31,35806	0,561705	0,361476
105	244,89	183,7613	33,26524	24,96168	0,447129	0,263215
135	219,49	183,7613	19,44297	16,27803	0,291582	0,153845
165	208,91	183,7613	13,6855	12,03803	0,215633	0,108288
225	201,29	183,7613	9,538816	8,70816	0,155986	0,075477
285	197,52	183,7613	7,487242	6,965703	0,124774	0,059244
345	192,2	183,7613	4,592182	4,39056	0,078646	0,036336
405	190,16	183,7613	3,482047	3,36488	0,060274	0,027552
465	189,75	183,7613	3,258931	3,156077	0,056534	0,025787
525	189,59	183,7613	3,171862	3,074348	0,05507	0,025098
585	189,32	183,7613	4,64589	4,4396	0	0

Tabela 23. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 70°C- amostra 3

Tempo	Amostra 3	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	183,7613	126,3806	55,8266	1	1
15	400,46	183,7613	117,924	54,11243	0,969295	0,933086
30	380,86	183,7613	107,258	51,75095	0,926994	0,84869
45	357,46	183,7613	94,52405	48,59247	0,870418	0,747932
60	331,46	183,7613	80,37526	44,56002	0,798186	0,635978
75	304,95	183,7613	65,94894	39,7405	0,711856	0,521828
90	283,89	183,7613	54,48842	35,27023	0,631782	0,431146
105	260,98	183,7613	42,02116	29,58796	0,529998	0,332497
135	225,66	183,7613	22,80058	18,56716	0,332586	0,180412
165	212,2	183,7613	15,47586	13,40182	0,240061	0,122454
225	202,85	183,7613	10,38774	9,410232	0,168562	0,082194
285	198,94	183,7613	8,259983	7,629766	0,136669	0,065358
345	192,42	183,7613	4,711903	4,499873	0,080604	0,037283
405	190,85	183,7613	3,857534	3,714255	0,066532	0,030523
465	190,45	183,7613	3,63986	3,512027	0,06291	0,028801
525	190,17	183,7613	3,487489	3,369962	0,060365	0,027595
585	189,76	183,7613	4,64589	4,4396	0	0

Tabela 24. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 70°C- amostra 4

Tempo	Amostra 4	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	186,2573	123,3469	55,2266	1	1
15	410,49	186,2573	120,3886	54,62561	0,98827	0,97518
30	404,49	186,2573	117,1673	53,95255	0,975133	0,948153
45	387,59	186,2573	108,0938	51,94475	0,935946	0,872027
60	370,09	186,2573	98,69821	49,67242	0,891595	0,793198
75	368,79	186,2573	98,00025	49,49501	0,888133	0,787342
90	358,99	186,2573	92,73871	48,11629	0,861223	0,743198
105	340,39	186,2573	82,75253	45,28119	0,805889	0,659414
135	329,09	186,2573	76,68565	43,40231	0,769217	0,608514
165	319,69	186,2573	71,63887	41,73814	0,736736	0,566171
225	314,32	186,2573	68,75576	40,74276	0,717309	0,541982
285	296,83	186,2573	59,36553	37,25117	0,649161	0,463198
345	283,37	186,2573	52,13897	34,27062	0,590987	0,402568
405	268,79	186,2573	44,31109	30,70526	0,5214	0,336892
465	241,75	186,2573	29,79354	22,95456	0,370124	0,21509
525	222,01	186,2573	19,1953	16,10407	0,236418	0,126171
585	214,31	186,2573	15,06123	13,08976	0,177586	0,091486
645	206,59	186,2573	10,91643	9,842033	0,114198	0,056712
705	200,91	186,2573	7,866888	7,293144	0,064449	0,031126
765	197,3	186,2573	5,928709	5,596886	0,031342	0,014865
825	194,59	186,2573	4,473733	4,28216	0,005682	0,002658
885	194	186,2573	4,156967	3,99106	0	0

Tabela 25. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 90°C- amostra 1

Tempo	Amostra 1	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD
0	416	178,9561	132,4592	56,9817	1	1
15	357,9	178,9561	99,99315	49,99829	0,874967	0,752766
30	294,38	178,9561	64,49842	39,20914	0,681795	0,482468
45	243,65	178,9561	36,15069	26,55197	0,455177	0,266596
60	215,19	178,9561	20,24735	16,83808	0,281256	0,145489
75	196,05	178,9561	9,55199	8,719139	0,135892	0,064043
90	188,26	178,9561	5,198968	4,942033	0,068266	0,030894
105	184,51	178,9561	3,103482	3,010066	0,033675	0,014936
120	183,19	178,9561	2,365871	2,311192	0,021163	0,009319
135	183,08	178,9561	2,304404	2,252497	0,020112	0,008851
165	182,89	178,9561	2,198233	2,15095	0,00107	0,008043
195	181,12	178,9561	1,209163	1,194717	0,001173	0,000511
255	181	178,9561	1,142108	1,129211	0	0

Tabela 26. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 90°C- amostra 2

Tempo	Amostra 2	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	183,04	127,2727	56	1	1
15	378,98	183,04	107,0476	51,70194	0,91929	0,837482
30	335,88	183,04	83,50087	45,50435	0,80291	0,648273
45	295,5	183,04	61,44012	38,05753	0,663072	0,471004
60	267,08	183,04	45,91346	31,46623	0,539298	0,34624
75	241,1	183,04	31,71984	24,08129	0,400622	0,232188
90	223,24	183,04	21,96241	18,00753	0,286567	0,153782
105	205,56	183,04	12,30332	10,95544	0,154141	0,076167
120	194,87	183,04	6,463068	6,070714	0,062415	0,029237
135	191,13	183,04	4,419799	4,232721	0,027901	0,012819
165	188,59	183,04	3,032124	2,942892	0,00368	0,001668
195	188,3	183,04	2,873689	2,793415	0,000873	0,000395
255	188,28	183,04	2,862762	2,783089	0,000679	0,000307
315	188,21	183,04	2,824519	2,746932	0	0

Tabela 27. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 90°C- amostra 3

Tempo	Amostra 3	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	178,88	132,5581	57	1	1
15	388,6	178,88	117,2406	53,96809	0,944772	0,882545
30	354,2	178,88	98,00984	49,49746	0,863338	0,735082
45	317,83	178,88	77,67777	43,71834	0,758068	0,579175
60	290,92	178,88	62,63417	38,51231	0,663238	0,46382
75	265,47	178,88	48,40675	32,61762	0,555864	0,354724
90	244,67	178,88	36,77885	26,88928	0,451519	0,265561
105	223,68	178,88	25,04472	20,02861	0,326549	0,175583
120	207,59	178,88	16,04987	13,83015	0,213641	0,10661
135	199,1	178,88	11,30367	10,1557	0,14671	0,070216
165	188,46	178,88	5,355546	5,083307	0,054314	0,024606
195	186,12	178,88	4,047406	3,889963	0,032576	0,014575
255	182,86	178,88	2,224955	2,176528	0,001365	0,0006
315	182,72	178,88	2,146691	2,101576	0	0

Tabela 28. Secagem da torta de mamona a 1% de hidróxido de cálcio a 90°C–amostra 4

Tempo	Amostra 4	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	181,7213	128,922	56,317	1	1
15	410,8	181,7213	126,0605	55,76405	0,989726	0,977355
30	395	181,7213	117,3658	53,99461	0,956851	0,908549
45	377,8	181,7213	107,9008	51,90014	0,917937	0,833645
60	360,7	181,7213	98,49079	49,61983	0,87557	0,759178
75	344,6	181,7213	89,63107	47,26602	0,831837	0,689065
90	330,2	181,7213	81,70684	44,9663	0,789109	0,626355
105	313,68	181,7213	72,616	42,06794	0,735259	0,554414
120	298,46	181,7213	64,24053	39,11369	0,68037	0,488133
135	286,36	181,7213	57,58198	36,54097	0,63257	0,43544
165	258,83	181,7213	42,43241	29,79126	0,507164	0,315551
195	238,16	181,7213	31,05785	23,69782	0,393951	0,225537
255	204,92	181,7213	12,7661	11,32087	0,163993	0,080782
315	189,7	181,7213	4,390636	4,205967	0,031801	0,014502
375	186,37	181,7213	2,558159	2,49435	0	0
435	186,37	181,7213	2,558159	2,49435	0	0

Tabela 29. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 90°C–amostra 1

Tempo	Amostra 1	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	178,7581	132,7167	57,0293	1	1
15	369	178,7581	106,4242	51,55607	0,896191	0,794939
30	318,9	178,7581	78,3975	43,9454	0,751843	0,576353
45	287,9	178,7581	61,05563	37,90965	0,637365	0,441099
60	248,48	178,7581	39,00348	28,05936	0,450538	0,26911
75	221,07	178,7581	23,66991	19,13959	0,28136	0,14952
90	202,8	178,7581	13,4494	11,85497	0,143196	0,069808
105	194,36	178,7581	8,727933	8,027314	0,070598	0,032984
120	189,3	178,7581	5,897292	5,568879	0,02397	0,010908
135	187,6	178,7581	4,946286	4,71316	0,00774	0,00349
165	187,27	178,7581	4,761679	4,545249	0,004555	0,002051
195	187	178,7581	4,610637	4,407427	0,001941	0,000873
255	186,97	178,7581	4,593855	4,392089	0,00165	0,000742
315	186,8	178,7581	4,498754	4,305079	0	0

Tabela 30. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 90°C- amostra 2

Tempo	Amostra 2	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	178,7581	132,7167	57,0293	1	1
15	388,9	178,7581	117,5566	54,03494	0,943262	0,881814
30	356,9	178,7581	99,65527	49,91367	0,865172	0,742259
45	335,9	178,7581	87,90756	46,78234	0,805839	0,650676
60	299,64	178,7581	67,62316	40,34237	0,683813	0,492543
75	264	178,7581	47,68561	32,28859	0,531208	0,337113
90	230	178,7581	28,66549	22,27908	0,341546	0,188836
105	218,47	178,7581	22,21543	18,17727	0,263824	0,138552
120	196,66	178,7581	10,01459	9,102963	0,091882	0,043437
135	190,24	178,7581	6,423142	6,035475	0,033759	0,015438
165	187,38	178,7581	4,823215	4,601285	0,006584	0,002966
195	187	178,7581	4,610637	4,407427	0,002911	0,001308
255	186,9	178,7581	4,554696	4,35628	0,001941	0,000872
315	186,8	178,7581	4,498754	4,305079	0,000971	0,000436
375	186,7	178,7581	4,442813	4,253823	0	0

Tabela 31. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 90°C- amostra 3

Tempo	Amostra 3	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	178,7581	132,7167	57,0293	1	1
15	390,87	178,7581	118,6586	54,26661	0,949272	0,891928
30	360,77	178,7581	101,8202	50,45095	0,87921	0,762482
45	339,37	178,7581	89,84873	47,32648	0,821839	0,670451
60	309,27	178,7581	73,01033	42,19998	0,727708	0,541005
75	275,76	178,7581	54,26433	35,1762	0,598739	0,396895
90	240,67	178,7581	34,63445	25,7248	0,425195	0,24599
105	213,17	178,7581	19,25053	16,14293	0,249255	0,127725
120	194,82	178,7581	8,985264	8,244476	0,104226	0,048811
135	184,8	178,7581	3,379924	3,26942	0,012875	0,00572
165	184,66	178,7581	3,301606	3,196084	0,011529	0,005118
195	184,47	178,7581	3,195317	3,096378	0,009698	0,004301
255	184,36	178,7581	3,133781	3,038559	0,008636	0,003827
315	183,51	178,7581	2,658278	2,589444	0,00039	0,000172
375	183,47	178,7581	2,635902	2,568206	0	0

Tabela 32. Secagem da torta de mamona a 3% de hidróxido de cálcio a 90°C- amostra 4

Tempo	Amostra 4	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	178,7581	132,7167	57,0293	1	1
15	410,46	178,7581	129,6176	56,44932	0,98983	0,976648
30	397,66	178,7581	122,457	55,0475	0,965249	0,922695
45	391,66	178,7581	119,1005	54,35885	0,953174	0,897404
60	379,66	178,7581	112,3876	52,91626	0,927879	0,846823
75	365,26	178,7581	104,332	51,06004	0,89533	0,786125
90	351,66	178,7581	96,72394	49,16735	0,862142	0,7288
105	336,26	178,7581	88,10895	46,83932	0,82132	0,663887
120	318,2	178,7581	78,00591	43,82209	0,768414	0,587763
135	290,54	178,7581	62,53248	38,47384	0,674633	0,471173
165	269,4	178,7581	50,70645	33,64584	0,589975	0,382065
195	238,4	178,7581	33,36458	25,01757	0,438679	0,251397
255	217,78	178,7581	21,82944	17,91803	0,31419	0,164481
315	203,52	178,7581	13,85218	12,16681	0,213343	0,104374
375	185,86	178,7581	3,972904	3,821095	0,067002	0,029935
435	182,39	178,7581	2,031733	1,991276	0,034917	0,015309

Tabela 33. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 90°C- amostra 1

Tempo	Amostra 1	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBSD
0	416	178,88	132,5581	57	1	1
15	357,9	178,88	100,0783	50,01956	0,874845	0,754976
30	294,38	178,88	64,56843	39,235	0,681483	0,487095
45	243,65	178,88	36,20863	26,58321	0,454644	0,273153
60	215,19	178,88	20,29852	16,87346	0,280553	0,153129
75	196,05	178,88	9,598614	8,75797	0,135047	0,072411
90	188,26	178,88	5,243739	4,982471	0,067354	0,039558
105	184,51	178,88	3,147361	3,051325	0,03273	0,023743
120	183,19	178,88	2,409436	2,352749	0,020205	0,018176
135	183,08	178,88	2,347943	2,294079	0,019153	0,017713
165	182,89	178,88	2,241726	2,192575	0,00107	0,016911
195	181,12	178,88	1,252236	1,236749	0,000196	0,009447
255	181,1	178,88	1,241055	1,225842	0	0,009362

Tabela 34. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 90°C- amostra 2

Tempo	Amostra 2	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	178,88	132,5581	57	1	1
15	388,44	178,88	117,1512	53,94913	0,945246	0,882624
30	335,44	178,88	87,52236	46,67303	0,814662	0,656899
45	305,22	178,88	70,62835	41,39309	0,719903	0,528194
60	273,71	178,88	53,01319	34,64616	0,598816	0,393995
75	239,13	178,88	33,6818	25,1955	0,429205	0,246721
90	208,46	178,88	16,53623	14,18977	0,231685	0,116099
105	190,97	178,88	6,758721	6,330837	0,090641	0,04161
120	184,48	178,88	3,13059	3,035559	0,031501	0,013969
135	182,38	178,88	1,956619	1,91907	0,011463	0,005026
165	181,6	178,88	1,520572	1,497797	0,003902	0,001704
195	181,49	178,88	1,459079	1,438096	0,002831	0,001235
255	181,4	178,88	1,408766	1,389195	0,001953	0,000852
315	181,2	178,88	1,296959	1,280353	0	0

Tabela 35. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 90°C- amostra 3

Tempo	Amostra 3	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	178,88	132,5581	57	1	1
15	390,98	178,88	118,5711	54,2483	0,950712	0,893532
30	358,68	178,88	100,5143	50,12825	0,876914	0,756085
45	329,78	178,88	84,35823	45,75778	0,79863	0,633106
60	298,41	178,88	66,82133	40,05563	0,696494	0,499617
75	268,9	178,88	50,32424	33,47713	0,57866	0,374043
90	241,55	178,88	35,03466	25,94494	0,443744	0,25766
105	216,84	178,88	21,22093	17,506	0,292586	0,152511
120	198,75	178,88	11,10801	9,997484	0,158094	0,075532
135	188,39	178,88	5,316413	5,048039	0,06944	0,031447
165	182,14	178,88	1,822451	1,789832	0,01108	0,004851
195	181,4	178,88	1,408766	1,389195	0,003903	0,001702
255	181,27	178,88	1,336091	1,318475	0,002825	0,001242
315	181	178,88	1,185152	1,171271	0	0

Tabela 36. Secagem da torta de mamona a 5% de hidróxido de cálcio a 90°C- amostra 4

Tempo	Amostra 4	M seca	UBS	UBU	RUBU	RUBS
0	416	178,88	132,5581	57	1	1
15	408,35	178,7581	128,4372	56,22429	0,985835	0,968366
30	413,85	178,7581	131,514	56,80606	0,996459	0,991985
45	385,65	178,7581	115,7385	53,64758	0,938782	0,870885
60	374,25	178,7581	109,3611	52,23564	0,912999	0,82193
75	354,05	178,7581	98,06094	49,51049	0,863236	0,735185
90	341,55	178,7581	91,06825	47,66268	0,829493	0,681506
105	321,73	178,7581	79,98064	44,43847	0,770617	0,596393
120	305,71	178,7581	71,01881	41,5269	0,717449	0,527598
135	291,65	178,7581	63,15343	38,708	0,665974	0,46722
165	271,46	178,7581	51,85884	34,14937	0,58273	0,380518
195	247,75	178,7581	38,59511	27,84738	0,46765	0,2787
255	218,39	178,7581	22,17068	18,1473	0,290519	0,15262
315	205,4	178,7581	14,90388	12,97073	0,195991	0,096837
375	193,55	178,7581	8,274807	7,642412	0,098692	0,045949
435	186,23	178,7581	4,179888	4,012183	0,032401	0,014515
495	182,85	178,7581	2,289064	2,237839	0	0