

UNIVERSIDADE TIRADENTES – UNIT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS - PEP

**ESTUDO DA SECAGEM INFRAVERMELHO DE SEMENTES DE
GIRASSOL**

Autor: Diego Melo Costa

Orientadores: Cleide Mara Faria Soares, D.Sc.

Daniel Pereira da Silva, D.Sc.

Manoel Marcelo do Prado, D.Sc.

ARACAJU, SE - BRASIL

ABRIL DE 2010

ESTUDO DA SECAGEM INFRAVERMELHO DE SEMENTES DE GIRASSOL

Diego Melo Costa

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS DA UNIVERSIDADE TIRADENTES COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS

Aprovada por:

ARACAJU, SE - BRASIL

ABRIL DE 2006

Resumo da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos da Universidade Tiradentes como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos.

SECAGEM DE SEMENTES DE GIRASSOL VIA RADIAÇÃO INFRAVERMELHO:
INFLUÊNCIA DA REMOÇÃO DO TEGUMENTO SOBRE O FENÔMENO DE
TRANSFERÊNCIA DE MASSA E ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO PRODUTO

Diego Melo Costa

Diante da crescente importância das sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.) como fonte de óleo e proteína, e como matéria-prima para a produção de biodiesel, existe um grande interesse no Brasil em aumentar sua produção. Em razão dos crescentes volumes de produção, este material requer uma atenção especial, no sentido da adoção de uma técnica de beneficiamento, como a secagem, que permita assegurar a obtenção de sementes com excelente potencial de conservação de suas características físico-químicas e fisiológicas até o seu aproveitamento como matéria-prima, seja para extração de óleo, seja como semente para semeadura, para fins de renovação das lavouras. A necessidade de aplicar fontes alternativas e eficientes de energia para reduzir o tempo e os custos com o processo tem impulsionado pesquisas sobre a secagem via radiação infravermelho. As condições ótimas do processo para a preservação das sementes inteiras de girassol foram determinadas em um estudo anterior. No entanto, informações sobre o comportamento de secagem das sementes sem o tegumento e seus atributos de qualidade não estão disponíveis na literatura. Logo, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência da remoção do tegumento de sementes de girassol da variedade Embrapa 122 sobre o fenômeno de transferência de massa durante a secagem infravermelho, bem como sobre o rendimento do óleo extraído e a regeneração fisiológica das sementes. Os experimentos foram conduzidos com monocamadas de sementes e temperaturas da fonte de aquecimento infravermelho de 40, 65, 80, 93 e 105°C, sob as quais os grãos atingiram temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C, respectivamente. A caracterização das sementes, antes e após o processo de secagem, nas diferentes condições empregadas, foi realizada via métodos físico-químicos, através da determinação dos teores de umidade, proteínas, lipídeos, fibra bruta, cinzas e carboidratos totais. A qualidade fisiológica foi avaliada por meio dos testes de germinação. A remoção do tegumento das sementes contribuiu para aumentar a taxa de secagem e a difusividade de umidade efetiva, provavelmente devido aos altos teores de lipídeos e proteínas do endosperma, que levam a uma boa capacidade de absorção e de penetração de energia eletromagnética na região do infravermelho. Além disso, a atividade enzimática foi reduzida com o aumento da temperatura de secagem. As sementes apresentaram também uma maior velocidade de germinação, quando descascadas, em razão da menor resistência oferecida à protusão da radícula. APOIO: FAPITEC, CNPQ

Palavras-chave: Girassol, secagem infravermelho, Atributos de qualidade.

Summary of dissertation submitted to the Graduate Program in Process Engineering of the University as part of Tiradentes requirements for the degree of Master of Engineering Processes.

DRYING OF SUNFLOWER SEEDS VIA INFRARED RADIATION: coat removal INFLUENCE ON THE PHENOMENON OF MASS TRANSFER AND ATTRIBUTES OF QUALITY OF PRODUCT

Diego Melo Costa

Given the growing importance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as a source of oil and protein, and as feedstock for biodiesel production, there is great interest in Brazil to increase its production. Because of the increasing volumes of production, this material requires special attention in order to adopt a technique of processing such as drying, which ensure obtaining seeds with excellent potential for conservation of its physical-chemical and physiological uptheir use as raw material, either for the extraction of oil, either as seed for sowing, for renewal of the crops. The need to implement alternative sources and energy efficient to reduce time and costs associated with the process has stimulated research on infrared radiation drying track. Optimum conditions for the preservation of whole sunflower seeds were determined in a previous study. However, information about the behavior of drying seeds without the seed coat and its quality attributes are not available in the literature. Therefore, the aim was to analyze the influence of removing the husk of sunflower seeds of the variety Embrapa 122 on the phenomenon of mass transfer during infrared drying, and on the yield of extracted oil and seed physiological regeneration. The experiments were conducted with monolayers of seeds and temperatures of the infrared heating source 40, 65, 80, 93 and 105 ° C, under which the grains have reached temperatures of 30, 40, 50, 60 and 70 ° C, respectively. The characterization of the seed before and after the drying process in the different conditions employed, was accomplished via physical-chemical methods, through the determination of moisture, protein, fat, crude fiber, ash and total carbohydrates. The physiological quality was evaluated through germination tests. The removal of the seed coat helped to increase the drying rate and the effective diffusivity of moisture, probably due to high levels of lipids and proteins of the endosperm, which leads to good capacity for absorption and penetration of electromagnetic energy in the infrared region. Moreover, the enzyme activity was reduced with increasing drying temperature. The seeds also had a higher germination rate, when peeled, because of lower resistance offered to the protrusion of the radicle. SUPPORT: FAPITEC, CNPQ

Keywords: Sunflower, infrared drying, quality atributes

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	7
CAPÍTULO 2	9
2.1. O Girassol	9
2.2. Processos de Secagem	11
2.2.1. Aspectos Tecnológicos	12
2.2.2. Secagem Via Radiação Infravermelho.....	12
2.2.2.1. Secagem Contínua e Intermitente	14
2.2.3. Cinética de secagem.....	17
2.2.4. Umidade de equilíbrio.....	20
2.3. Atributos de qualidade	22
2.3.1. Caracterização Física	22
2.3.2. Avaliação da Qualidade das Sementes.....	23
2.3.2.1. Vigor das Sementes.....	24
2.3.2.2. Teste de germinação.....	25
2.3.3. Atividade Enzimática.....	26
2.3.3.1. Lipase	27
2.3.3.2. Peroxidase	27
2.3.4. Patógenos do girassol.....	29
CAPÍTULO 3	32
3.1. Material.....	32
3.2. Equipamento.....	32
3.3. Metodologia experimental	33
3.3.1. Caracterização Física das sementes	33
3.3.2. Processo de reumidificação.....	33
3.3.3. Experimentos de secagem infravermelho	34
3.3.4. Determinação de atividade de água.....	35
3.4. Tratamento e Análise de dados	35
3.5. Atributos de qualidade	36
3.5.1. Qualidade fisiológica	36
3.5.2. Análise físico-química	36
3.6. Análise bioquímica	38
CAPÍTULO 4	40
4.1. Distribuição do tamanho dos grãos.....	40

4.2.	Processo de Reumidificação	41
4.3.	Cinética de secagem	43
4.3.1.	Secagem Contínua	44
4.3.2.	Secagem Intermitente	46
4.4.	Discriminação das equações de cinética de secagem.....	51
4.5.	Atividade de água	60
4.6.	Atributos de qualidade	62
4.6.1.	Qualidade Fisiológica das sementes	62
4.6.2.	Composição físico-química das sementes.....	63
4.6.3.	Atividade enzimática nas sementes de girassol	64
4.6.3.1.	Atividade lipásica das sementes.....	65
4.6.3.2.	Atividade peroxidase das sementes.....	66
CAPÍTULO 5	.....	69
CAPÍTULO 6	.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	70
CAPÍTULO 7	.....	76
Anexo 1	.....	76
Anexo 2	.....	79

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Evolução da produção mundial e área cultivada de girassol.....	10
Figura 2.2 Esquema da radiação infravermelho	13
Figura 3.1 - Determinador de umidade infravermelho sem balança.	32
Figura 3.2- Esquema do secador infravermelho.....	34
Figura 4.1 - Histograma dos números de sementes com casca quanto ao valor do comprimento (mm).	40
Figura 4.2 - Histograma dos números de sementes sem casca quanto ao valor do comprimento (mm).	41
Figura 4.3 - Parte da semente de girassol.....	42
Figura 4.4 - Teor de umidade em função do tempo, durante o processo de reumidificação de sementes de girassol para sementes com e sem casca.	42
Figura 4.5 - Adimensional de umidade em função do tempo, durante a secagem contínua em secador infravermelho a temperatura de 80°C.....	43
Figura 4.6 - Temperatura atingida pelas sementes secas no secador infravermelho a 80°C em função do tempo.....	44
Figura 4.7 - Adimensional de umidade em função do tempo das sementes de girassol secas de forma contínua em diferentes temperaturas de radiação infravermelho.	45
Figura 4.8 - Taxa de secagem em função do teor de umidade em base seca, para diferentes temperaturas de radiação em secagem contínua.....	46
Figura 4.9 - Temperatura das sementes em função do tempo, em diferentes temperaturas da fonte de radiação infravermelho.....	47
4.10 - Temperatura das sementes em função do tempo.	47
Figura 4.11 - Adimensional de umidade em função do tempo das sementes de girassol secas de forma intermitente em diferentes temperaturas de radiação infravermelho.	48
Figura 4.12 - Comparação entre os tipos de secagem contínua e intermitente, parametrizada em uma temperatura.....	49
4.13 - Comparação entre os tipos de secagem contínua e intermitente, parametrizada em uma temperatura.....	49
Figura 4.14 - Taxa de secagem em função do teor de umidade em base seca, para diferentes temperaturas de radiação em secagem intermitente	50
Figura 4.15 - Coeficiente de difusão efetiva em função da temperatura, para secagem Intermitente... ..	52
Figura 4.16 - Parâmetro a do modelo difusivo em função da temperatura, para a secagem intermitente.	52
Figura 4.17 - Coeficiente de difusão efetiva em função da temperatura, para secagem Contínua.....	53
Figura 4.18 - Parâmetro a do modelo difusivo em função da temperatura, para a secagem contínua ..	53
Figura 4.19 - Constante de secagem (k) em função da temperatura, para a secagem contínua.	54
Figura 4.20 - Parâmetro n da equação de Page em função da temperatura, para a secagem Contínua.	54
Figura 4.21 - Constante de secagem (k) em função da temperatura, para a secagem Intermitente.....	55
Figura 4.22 - Parâmetro n da equação de Page em função da temperatura, para a secagem Intermitente.	55
Figura 4.23 - Distribuição de resíduos em função dos valores de XR previstos pela equação de Page, para a secagem contínua.	57

Figura 4.24 - Distribuição de resíduos em função dos valores de XR previstos pela equação de Page, para a secagem Intermitente.	57
Figura 4.25 - Distribuição de resíduos em função dos valores de XR previstos pela equação simplificada do modelo difusivo, para a secagem contínua.	58
Figura 4.26 - Distribuição de resíduos em função dos valores de XR previstos pela equação simplificada do modelo difusivo, para a secagem Intermitente.	58
Figura 4.27 - Adimensional de umidade em função do tempo para a secagem contínua.	59
Figura 4.28 - Superfície de resposta para o teor de umidade das sementes de girassol, durante a secagem infravermelho de forma contínua.	60
Figura 4.29 - Superfície de resposta para o teor de umidade das sementes de girassol, durante a secagem infravermelho de forma intermitente.	60
Figura 4.30 - Atividade de água em função do teor de umidade - Temperatura ambiente.	60
Figura 4.31 - Atividade de água em função do tempo.	61
Figura 4.32 - Percentual de germinação das sementes parametrizadas nas diferentes temperaturas de secagem.	62
Figura 4.33- Perfil da atividade lipásica das sementes antes e após tratamento térmico - 15 minutos.	65
Figura 4.34- Perfil da atividade peroxidase das sementes antes e após tratamento térmico - 15 minutos.	67
Figura 7.1 - Tempo de dosagem da atividade enzimática da lipase nos grãos de girassol secos a temperatura de 93°C.	76
Figura 7.2 - Tempo de dosagem da atividade enzimática da lipase nos grãos de girassol secos a temperatura de 40°C.	76
Figura 7.3 - Tempo de dosagem da atividade enzimática da lipase nos grãos de girassol secos a temperatura de 65°C.	77
Figura 7.4 - Tempo de dosagem da atividade enzimática da lipase nos grãos de girassol secos a temperatura de 80°C.	77
Figura 7.5 - Tempo de dosagem da atividade enzimática da lipase nos grãos de girassol secos a temperatura de 93°C.	78

Lista de Tabelas

Tabela 2.1- Girassol: Comparativo de área, produtividade e produção safra 2008/2009 e 2009/2010.	10
Tabela 2.2 - Principais equações de cinética de secagem encontradas na literatura.	19
Tabela 2.3 - Modelos matemáticos de umidade de equilíbrio.....	21
Tabela 2.4 - Equações matemáticas utilizadas para determinação da esfericidade, massa específica e volume.....	23
Tabela 2.5 - Atividade de água (A_w) mínima para sobrevivência de fungos.	31
Tabela 4.1 - Parametro da equação de Page e do Modelo Difusivo. Para secagem via radiação infravermelho de foram contínua e intermitente.	51
Tabela 4.2 - Parâmetros estimados e critérios de qualidade de ajuste para a equação de Page.	56
Tabela 4.3 - Parâmetros estimados e critérios de qualidade de ajuste para a equação simplificada do modelo difusivo.....	57
Tabela 4.4- Parâmetros estimados para a equação de GAB.	61
Tabela 4.5 - Composição nutricional das sementes de girassol com tegumento antes do processo de secagem.	63
Tabela 4.6 - Composição nutricional das sementes de girassol com tegumento apos do processo de secagem infravermelho em diferentes temperaturas.	63
Tabela 4.7 - Composição nutricional das sementes de girassol com tegumento apos do processo de secagem infravermelho em diferentes temperaturas.	64

Lista de símbolos

X = Teor de umidade do sólido (KgKg^{-1})

t = tempo (s)

π = potencial de umidade

ε = porosidade (m^3m^{-3})

ρ = densidade (kgm^{-3})

e = equilíbrio

i_0 = inicial

A = Absorvância

ϵ = Absorvidade molar do tetraguaiacol

M_a = Massa da amostra

t = tempo

D_{eq} = diâmetro equivalente, em mm.

C , L e E = as três dimensões do grão, em mm.

m – semente moída com casca e sem casca (g)

N - normalidade da solução de KOH (N)

t - tempo de reação (min)

V_A - volume de KOH gasto na titulação da amostra (mL)

V_B - volume do KOH gasto na titulação do controle (mL)

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A cultura do girassol, por características morfológicas e fisiológicas, adapta-se a todos os tipos de solo e clima, sendo particularmente resistentes às condições de baixa pluviosidade devido a sua raiz pivotante. Tais características fazem do girassol uma ótima alternativa para a rotação de culturas.

A área plantada no Brasil representa 2,7% da área mundial, demonstrando o potencial para o desenvolvimento desta cultura no Brasil (EMBRAPA, 2007). Entretanto, entre os grãos produzidos no Brasil, o cultivo do girassol concentra-se como a quinta maior produção de oleaginosas. A produção de girassol concentra-se, principalmente, nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, São Paulo e Paraná.

Na região nordeste, vários esforços são realizados para aumentar a oferta de novas e antigas espécies oleaginosas adaptadas às condições semi-áridas visando sua comercialização. Sergipe é um estado brasileiro com uma área territorial de 21.994 Km², ou seja, 21.994.000 ha, que corresponde a 1,42% da região nordeste e 0,26% do Brasil. Considerando o plantio de girassol em 1% do território do estado de Sergipe, é possível obter uma previsão de rendimento médio de produção de oleaginosas em torno de 543.031 toneladas de girassol (EMBRAPA, 2007). Assim, o cultivo do girassol está sendo desenvolvido em diversas regiões de Sergipe (Carira, Frei Paulo, Simão Dias e Nossa Senhora das Dores) como uma alternativa promissora para pequenas propriedades nesta região (EMBRAPA, 2007). A boa adaptação dos cultivos de girassol em regiões quentes, como na região nordeste, torna-se um fator estratégico não somente para a cadeia produtiva mas também para a qualidade das sementes.

Entretanto, para aumentar a área plantada em território nacional, é necessário que haja semente com condições fisiológicas adequadas garantindo que delas surjam plantas boas e conseqüentemente bons frutos, neste caso elevada produção de grãos e de boa qualidade. Além disso, no Brasil parte da produção de grãos secos é primitivo, ou seja, a secagem ocorre de forma natural, ainda no campo, por longos períodos. Neste sentido, a realização de estudos que viabilizem o desenvolvimento de secadores e o conhecimento de condições ótimas de operação é altamente desejável, uma vez que a secagem é uma operação unitária indispensável para a preservação das qualidades física, físico-química e fisiológica das

sementes, condição esta diretamente associada a uma produtividade elevada. Por outro lado, os estudos em diferentes tipos de secadores têm como objetivo também avaliar diferentes métodos de secagem artificial que gerem alimentos muito próximos do original em um intervalo de tempo menor, e com menor custo.

Visando contribuir com estes estudos, o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Tiradentes (PEP/UNIT) vem desenvolvendo nos últimos anos trabalhos na linha de secagem de sementes de oleaginosas, e em particular, sobre sementes de girassol. A avaliação da viabilidade dos métodos de secagem convectiva e infravermelho, em relação à qualidade fisiológica do produto, mostrou que estes tipos de secadores são promissores para esta natureza de sementes. Além disto, avanços importantes já foram dados nesta linha de pesquisa através de estudos envolvendo a determinação da cinética de secagem.

Em particular, este trabalho vem de encontro a questões relacionadas com a análise do método de secagem infravermelho no processo de secagem de sementes, principalmente em sementes sem o tegumento. Caracterização de outros atributos de qualidade, como a atividade enzimática nas sementes de girassol, frente ao processo de secagem também foram observadas. Estudos como estes são imprescindíveis para melhor compreensão dos fenômenos simultâneos de transferência de calor e de massa, em especial em etapas de tratamento de sementes de girassol, oleaginosa alvo desta pesquisa.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo foi realizada uma descrição sobre a matéria prima e uma análise de fatores que alteram as características na secagem das sementes oleaginosas.

2.1. O Girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.) constitui-se na segunda fonte mais importante de óleo vegetal comestível no mundo e sua cultura vem se destacando devido às suas vantagens e potencialidades. No Brasil, apesar de conhecido há vários anos, o cultivo do girassol tem sido recentemente estimulado e pode ser cultivada na maior parte do território brasileiro (PARK, 2007).

O girassol é uma oleaginosa que apresenta características agronômicas importantes, como maior resistência à seca, ao frio e ao calor, em comparação com a maioria das espécies normalmente cultivadas no Brasil. Apresenta ampla adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, e seu rendimento é pouco influenciado pela latitude, altitude ou fotoperíodo.

A origem do girassol possui diversas versões. A primeira versão descreve que o girassol é originário do Peru, porém sua origem na realidade foi de alguma parte da América. Hoje se pode afirmar com certeza que o girassol é originário do Sudoeste do Estados Unidos e do México (ROSSI, 1998)

Segundo CAVASIN (2001), estudos arqueológicos comprovam que algumas tribos indígenas já faziam uso do girassol em diversas regiões dos Estados Unidos, mas especificamente na região do Arizona e no Novo México.

O girassol foi levado a Europa e fortaleceu na antiga União Soviética, ficando famosos como “Girassóis da Rússia”. Segundo SILVA (2007) a produção mundial de girassol ficou, em 2004, em torno de 26.066 mil toneladas e os maiores produtores foram a Rússia, com 16,5% da produção mundial, a Argentina, com 15,35% e a União Européia, com 14,81% (AGRIANUAL, 2005). A Figura (2.1) a seguir mostra a evolução da produção no Brasil e área cultivada de girassol.

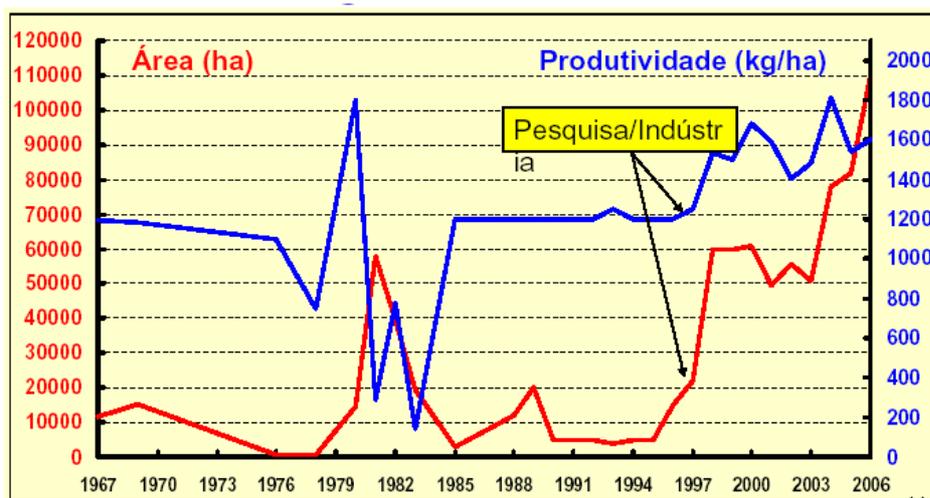


Figura 2. - Evolução da produção mundial e área cultivada de girassol

A Figura 2.1 mostra que o alto índice de produtividade ocorreu no final da década de 70, provavelmente devido a incentivos e busca por novas atividades. Depois ocorreu uma longa queda na produtividade devido a crises existentes na década de 80. A retomada ao crescimento do cultivo de girassol ocorreu somente na década de 90, se mantendo até os dias atuais (Tabela 2.1), demonstrando seu grande potencial econômico.

Tabela 2.- Girassol: Comparativo de área, produtividade e produção safra 2008/2009 e 2009/2010

REGIÃO/UF	ÁREA (Em mil ha)			PRODUTIVIDADE (Em kg/ha)			PRODUÇÃO (Em mil t)		
	Safra 08/09 (a)	Safra 09/10 (b)	VAR. % (b/a)	Safra 08/09 (c)	Safra 09/10 (d)	VAR. % (d/c)	Safra 08/09 (e)	Safra 09/10 (f)	VAR. % (f/e)
NORDESTE	3,5	3,5	-	676	796	17,8	2,3	2,8	21,7
CE	1,9	1,9	-	815	717	(12,0)	1,5	1,4	(6,7)
RN	1,6	1,6	-	512	890	73,8	0,8	1,4	75,0
CENTRO-OESTE	47,2	49,8	5,5	1.601	1.447	(9,6)	75,5	72,0	(4,6)
MT	41,3	41,5	0,5	1.635	1.477	(9,7)	67,5	61,3	(9,2)
MS	2,4	2,7	12,5	1.100	1.120	1,8	2,6	3,0	15,4
GO	3,5	5,6	60,0	1.550	1.380	(11,0)	5,4	7,7	42,6
SUL	24,3	16,9	(30,5)	-	-	-	31,6	25,3	(19,9)
PR	0,7	0,7	-	1.371	1.382	0,8	1,0	1,0	-
RS	23,6	16,2	(31,4)	1.296	1.499	15,7	30,6	24,3	(20,6)
NORTE/NORDESTE	3,5	3,5	-	676	796	17,8	2,3	2,8	21,7
CENTRO-SUL	71,5	66,7	(6,7)	1.498	1.459	(2,6)	107,1	97,3	(9,2)
BRASIL	75,0	70,2	(6,4)	1.460	1.426	(2,3)	109,4	100,1	(8,5)

FONTE: CONAB - Levantamento: Jan/2010

Em relação as características físicas, as sementes de girassol possuem cascas bem aderidas, representando de 20 a 30% da massa total da semente. Além disso, o girassol tem

em sua composição uma taxa que varia de 38 a 50% de óleo (ÚNGARO, 1986; YOKOMIZO, 2003).

Por intermédio da aplicação deste óleo é que a semente de girassol é usada para produção de biodiesel. A CATI (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral) da Secretaria de Estado da Agricultura de São Paulo tem efetuado pesquisas que utilizam o óleo de girassol como substituto do óleo diesel para os motores de tratores. Os agrônomos explicam que o girassol é uma oleaginosa com muito potencial, pois sua produtividade alcança 50% de óleo vegetal. A forma de obtenção do óleo é extremamente simples, feita a partir da prensagem mecânica, filtragem e decantação. Além disso, é um óleo orgânico, sem nenhum aditivo químico ou agrotóxico (YOKOMIZO, 2003).

De acordo com o levantamento sistemático da produção agrícola do CONAB, em 2008 a área colhida no Brasil com girassol foi de 75.000 hectares. A produção foi superior a 109 mil toneladas e a produtividade atingiu 1,4 toneladas por hectare.

2.2. Processos de Secagem

No Brasil, nas últimas décadas, surgiu a necessidade do desenvolvimento de trabalhos de pesquisa relacionados com secagem, visando aprimorar a tecnologia de produção de sementes. Quando a pesquisa em tecnologia de sementes intensificou-se e a indústria de equipamentos recebeu incentivos, surgiram os primeiros trabalhos relacionados com secagem.

A secagem artificial vem sendo utilizada como uma operação de rotina nas empresas de sementes, principalmente, nos estados do Sul do Brasil e, não obstante as vantagens que apresenta, é uma operação de risco, podendo proporcionar danos irreversíveis se realizada sem os conhecimentos e cuidados necessários à preservação da qualidade inicial das sementes (CARVALHO, 2000; MIRANDA *et al.* 1999).

BAUDET *et al.* (1999) sugerem a secagem como um processo fundamental da tecnologia para a produção de sementes de alta qualidade, pois permite a redução do teor de água em níveis adequados para o armazenamento, preserva as sementes de alterações físicas e químicas, induzidas pelo excesso de umidade, e torna possível a manutenção da qualidade inicial durante o armazenamento, possibilitando colheitas próximas da maturidade fisiológica.

2.2.1. Aspectos Tecnológicos

O processo de secagem de sementes pode ser feita através de uma secagem natural, que consiste basicamente em expor o material às condições ambiente ou, através de uma secagem artificial, que consiste basicamente em submeter uma camada de material à exposição de uma fonte de calor.

A secagem natural utiliza energia solar e eólica para remover a umidade das sementes, empregando materiais como lonas. Entretanto, cuidados especiais devem ser tomados para que as sementes não sofram aquecimento excessivo e que a secagem ocorra do modo mais uniforme possível. Deste modo, a secagem natural, em geral, torna-se um pouco suscetível a riscos de danificação mecânica e térmica sendo, no entanto, dependente das condições do ar ambiente, que muitas vezes não são adequadas para a secagem das sementes (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

Em vista das limitações do método natural, que necessita da ocorrência de combinações favoráveis de fatores sob os quais não se tem controle, os métodos mais empregados tornam-se os artificiais. Entretanto, existem vários métodos de secagem artificial, sendo os principais: ar forçado com ou sem aquecimento, circuito fechado com dissecador, secador infra-vermelho entre outros (SANTOS, 1984; MASSARANI & VALENÇA, 1996; CELESTINO, 1998; FIGUEIRA, 2007). De um modo geral, os métodos de secagem artificiais empregam diversas condições de temperatura e fluxo de ar, tempo e formas de movimentação das sementes ou dos grãos e de contato entre ar e grãos, havendo diferentes secadores comerciais de acordo com o princípio de operação (VILLELA & SILVA, 1998; ELIAS, 2000).

2.2.2. Secagem Via Radiação Infravermelho

Este método de aquecimento envolve a aplicação de radiação dentro do intervalo de comprimento de onda correspondente a 0,75 até 100 μm . Este tipo de processo, aquecimento por infravermelho, está se tornando uma fonte importante de tratamento de calor na indústria, isso por causa das diversas vantagens existentes: equipamentos simples e de fácil manipulação, rápida resposta transiente e economias significativas de energia (SANDU, 1986; KRISHNAMURTHY, 2008).

Alguns dos tratamentos térmicos são realizados com aquecimento infravermelho, dentre eles a inativação de substâncias tóxicas e antimicrobianas com a degradação dessas

enzimas, redução da contagem microbiana, e valorização dos grãos, em geral, dos grãos de cereais, leguminosas e oleaginosas (GINZBURG, 1969; VILLELA & SILVA, 1992; PESKE & BARROS, 1997; MIRANDA et al., 1999)

Para descrever o fenômeno que ocorre durante a secagem via radiação infravermelho, FASINA (1998) utilizou equações para transferência de calor e massa. Essas foram baseadas em umidade circulação capilar. O autor cita ainda RATTI & MUUMDAR (1995) que apresentaram um conjunto de equações para descrever um secador infravermelho. Numerosos estudos mostraram que a transferência de massa em colheitas agrícolas é principalmente um processo de difusão (FORTES *et al.*, 1981, SOKHANSANJ, (1987), citados por CELESTINO, 1998). Deste modo, torna-se importante destacar que em processos de difusão, a transferência de massa no material leva em conta as resistências internas e externas da única partícula de grão para movimento de umidade (FASINA & SOKHANSANJ, 1996).

Ao desenvolver um modelo para descrever a transferência de calor e massa durante o aquecimento das sementes de oleaginosas submetidas à radiação infravermelha, são assumidos que as sementes são opacas à radiação e, portanto, a radiação é convertida em calor na superfície do material. Segundo a teoria da irradiação eletromagnética do infravermelho distante (SANDU, 1986; ; MEESO *et al*, 2006), energia gerada a partir de aquecedores afeta a superfície do grão e penetra cerca de 1 milímetro abaixo da superfície (GINZBURG, 1969; NINDO *et al.*, 1995; MEESO *et al*, 2006), como mostra a Figura. 2.2. Portanto, todos os raios de energia eletromagnética são completamente absorvidos a partir da superfície do grão para a profundidade de 1 mm, que é a chamada camada penetrante. Esta camada é considerada a localização da conversão de calor. No interior do grão a partir da profundidade de 1 mm até o núcleo é chamado de camada condutora, onde o calor é transferido por condução. No sentido contrário, a umidade no interior do grão é transferida do núcleo para a superfície do grão.

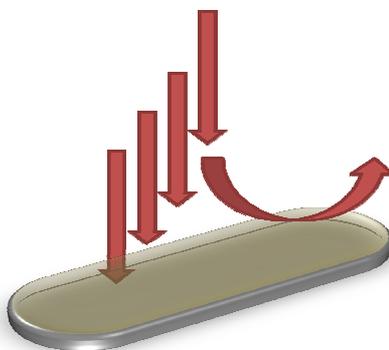


Figura 2. Esquema da radiação infravermelho

Assim, considerando a importância do estudo teórico do processo de secagem de grãos, MEESO *et al* (2006) descreveu um sistema de equações com o objetivo de ajustar os pontos experimentais a um modelo da difusão líquida acrescentando a análise do efeito da intensidade da radiação infravermelho no grão durante a secagem, bem como determinar e avaliar o coeficiente de difusão para diversas condições do ar.

As equações de transferência de calor e massa, segundo MEESO *et al.* (2006), são escritos para cada camada da seguinte forma:

Para camada penetrante:

Transferência de Calor

$$\rho c_g \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \frac{1}{k} \dot{q}_G \exp \left(-\frac{R-r}{\delta_p} \right) \text{ para } R_1 \leq r \leq R \quad (2.1)$$

Transferência de massa

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_m \left[\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right] \text{ para } R_1 \leq r \leq R \quad (2.2)$$

A equação (2.1) assume que o a secagem é através da difusão de umidade do interior do grão seguido de sua evaporação na superfície do mesmo (FORTES *et al.*, 1981; SOKHANSANJ, 1987). A temperatura do núcleo aumenta devido ao impacto da energia de radiação (total de energia radiante - energia latente de evaporação da umidade na superfície e a energia perdida devido à convecção natural do núcleo aquecido com o ambiente), na superfície do núcleo.

2.2.2.1. Secagem Contínua e Intermitente

Os métodos de secagem são classificados quanto ao uso de equipamentos (natural ou artificial), à periodicidade no fornecimento de calor (contínuo ou intermitente) e à movimentação da massa de sementes (estacionário ou contínuo).

A secagem natural é baseada nas ações do vento e do sol para a remoção da umidade das sementes. Tal processo é limitado pelo clima, quando as condições de umidade relativa do

ar e temperatura não permitem, ou quando se trata de maiores volumes de sementes. Apesar de apresentar baixo custo, é um método lento, e as sementes não devem ser expostas em camadas superiores a 4-6 cm, com revolvimento periódico (MAIA, 1995). Apresenta desvantagens que decorrem do intensivo uso de mão-de-obra, uma vez que as operações geram baixo rendimento e o processo é totalmente dependente das condições climáticas disponíveis (CARVALHO, 1994).

Na secagem artificial, a fonte de calor pode ser variável. O que caracteriza um método como artificial é o fato de que o processo é executado com o auxílio de alternativas mecânicas, elétricas ou eletrônicas e o ar, que atravessa a massa de sementes, é forçado (CAVARIANI, 1996). Apresenta as vantagens de permitir o controle da temperatura, do fluxo do ar de secagem e do tempo de exposição das sementes ao ar aquecido, fatores fundamentais para garantir a eficiência do processo.

Baseada na capacidade do ar de fornecer calor e na necessidade de aumentar a temperatura do ar, segundo VILLELA & SILVA (1992), a secagem artificial pode ser dividida em duas categorias: secagem em baixa temperatura, na qual se utiliza o ar natural ou aquecido de 1 a 8°C acima da temperatura ambiente e secagem em alta temperatura, que consiste em aquecer o ar a temperaturas iguais ou superiores a 8 - 10°C acima da temperatura ambiente.

Quanto ao fluxo de sementes no interior do equipamento de secagem, os métodos artificiais podem ser classificados em contínuo e estacionário. A secagem em fluxo contínuo implica em manter as sementes em constante movimento no interior do secador. Na secagem contínua, as sementes passam através do secador apenas uma vez, ficando expostas a um determinado período ao ar aquecido e outro na câmara de resfriamento. Deste modo, as sementes entram úmidas na câmara de secagem e são posteriormente descarregadas e resfriadas até umidade desejada. Nessas condições, a massa de sementes atinge temperaturas elevadas, ficando expostas aos danos térmicos, que podem causar redução na viabilidade e no vigor (AGUIRRE & PESKE, 1992; VILLELA & SILVA, 1992; CARVALHO, 1994). Embora não seja recomendado para a secagem de sementes, esse método pode ser utilizado, desde que observadas algumas precauções. VILLELA & PESKE (1992) sugerem a elevação da velocidade do fluxo das sementes permitindo o aumento do número de passagens pela câmara de secagem, reduzindo, dessa forma, o tempo de exposição ao ar aquecido e mantendo

a temperatura da massa de sementes em níveis não prejudiciais para manutenção de sua qualidade.

Uma outra alternativa que vem sendo avaliada é a utilização do método contínuo adaptado para secagem de sementes. O mesmo consiste na utilização de secadores que apresentam, no mínimo, duas câmaras de secagem. MOTTA (1999), avaliando o método para secagem de sementes de arroz, indicou que temperaturas do ar máximas de 60°C e 50°C , respectivamente nas câmaras superior e inferior podem ser empregadas, obtendo-se lotes que apresentam elevada qualidade fisiológica.

A secagem intermitente é caracterizada pela permanência das sementes em contato com o ar aquecido por períodos curtos, intercalados com períodos sem exposição ao fluxo de ar aquecido na câmara de equalização.

O período de equalização possibilita a redistribuição da umidade no interior das sementes, reduzindo os gradientes hídrico e térmico (VILLELA & PESKE, 1997). Na secagem intermitente, o período de equalização permite aumentar a quantidade de água removida por unidade de tempo em relação à secagem contínua. Isso decorre do fato da velocidade de secagem, após a remoção da água superficial, ser determinada pela velocidade de transporte da água, do interior para a superfície das sementes. Esse sistema ainda pode ser classificado, de acordo com a razão entre o período de exposição das sementes ao ar aquecido e o período de equalização (relação de intermitência), em intermitente rápido e lento (BAUDET et al.,1999).

No intermitente rápido, a relação de intermitência, em geral, é de 1:6, a 1:15, ou seja, para cada período de exposição ao ar aquecido, é necessário um período de equalização 6 a 15 vezes maior. Por outro lado, no método intermitente lento, a razão de intermitência pode ser de 1:1 a 1:3, dependendo do modelo de secador (LUZ & PESKE, 1988; VILLELA & PESKE, 1997).

A secagem intermitente de sementes permite a utilização de temperaturas elevadas do ar de secagem, sem contudo aumentar, excessivamente, a temperatura da massa de sementes devido ao período de equalização. Isso reduz os riscos de provocar danos térmicos, tornando-se mais eficiente que os outros sistemas, pois a quantidade de água extraída, por unidade de tempo, é maior (VILLELA, 1991; BAUDET et al., 1999).

VILLELA & SILVA (1992) determinaram a curva de secagem para sementes de milho, utilizando secador intermitente com temperatura do ar de 80°C e concluíram que o teor de água decresceu linearmente com o tempo, na razão de 0,66 pontos percentuais por hora para teores de água entre 15,8 e 13,1%.

Na secagem intermitente rápida e na lenta os resultados verificados confirmam parcialmente os obtidos em milho por PEREIRA (1991), VILLELA (1991) e AHRENS *et al.* (1997), e em arroz por LUZ & PESKE (1998), que também não constataram redução significativa na qualidade das sementes após secagem no mesmo modelo de secador empregado.

A temperatura da massa de sementes, segundo MOTTA *et al.* (1999), tende a aumentar nos estádios finais do processo de secagem quando a quantidade de água a ser evaporada torna-se menor, elevando os gradientes térmicos e hídricos entre a superfície e o interior da semente. Isto segundo VILLELA & PESKE (1996) pode proporcionar uma maior porcentagem de quebra no beneficiamento das sementes.

As secagens intermitentes rápida e lenta, empregando temperatura do ar de secagem de até 60°C e 70°C, respectivamente, mostram-se eficientes na remoção de água de milho com elevados teores de água, não afetando a qualidade fisiológica imediata das sementes.

PIGHINELLI *et al* (2009) determinou uma faixa ótima de teor de umidade, além de valores de temperatura, que pudessem facilitar ou prejudicar a fluidez do óleo. O maior rendimento em óleo bruto foi para umidade na faixa de 8 a 8,5% e temperatura entre 47,8 a 60 °C.

2.2.3. Cinética de secagem

Para descrever a secagem de grãos e sementes, algumas hipóteses devem ser consideradas:

- O teor de umidade é uniforme;
- Ocorre difusão radial simétrica;
- O teor de umidade na periferia da semente atinge quase que instantaneamente o valor de equilíbrio;
- O coeficiente de difusão efetivo (D_{eff}) é constante;
- Não ocorre encolhimento na partícula, ou este é desprezível;

- O grão tem forma esférica de raio r .

Fundados nessas hipóteses, as equações ficam assim descritas:

$$\frac{\partial X(r, t)}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial X(r, t)}{\partial r} \right) \quad (3)$$

Condições de contorno

$$CI: X(r, 0) = X_0$$

$$CC1: \left. \frac{\partial X(r, t)}{\partial r} \right|_{r=0} = 0$$

$$CC2: X(r, t) = X_e$$

Deste modo, a secagem pode ser solucionada de forma direta sob a definição do modelo difusivo, conforme Equação 4, na qual a umidade na superfície é constante e igual à umidade de equilíbrio X_e do produto; a umidade de ar de secagem constante e o encolhimento desprezível. A variação de umidade da semente em relação ao tempo é descrita pela equação:

$$\frac{X - X_{EQ}}{X_0 - X_{EQ}} = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{6}{(j\pi)^2} \exp \left[- (j\pi)^2 \frac{D_{ef}}{r^2} t \right] \quad (04)$$

A dependência da difusividade efetiva com a temperatura pode ser obtida por meio de uma equação do tipo Arrhenius. A constante de secagem foi investigada por vários pesquisadores e foi estabelecido que K pode ser descrita como uma equação do tipo Arrhenius como uma função da temperatura do ar de secagem (RATTANAPANT *et al.*, 1955;

HENDERSON & PABIS, 1961). Então o parâmetro difusividade efetiva deve ser estimado em função das condições operacionais de trabalho.

Simplificando o modelo difuso, para assim ser possível efetuar as estimativas de parâmetros, o mesmo fica da seguinte maneira:

$$\frac{X - X_{EQ}}{X_0 - X_{EQ}} = a \exp \left[- \frac{\pi^2 D_{ef}}{r^2} t \right] \quad (05)$$

Diante dessa simplificação, outra forma de estudar o comportamento é através dos métodos semi-empíricos que oferecem um compromisso entre a teoria e a aplicação sem, entretanto, refletirem toda a complexidade do fenômeno. Baseiam-se, geralmente, na lei de resfriamento de Newton aplicada à transferência de massa, presumindo-se que, durante a secagem, as condições sejam isotérmicas e que a transferência de umidade se restrinja à superfície do produto SYARIEF *et al.* (1984).

Baseado nos resultados de ensaios experimentais, outro tipo de modelo empírico produz uma relação direta entre o conteúdo de umidade e o tempo de secagem, como por exemplo a equação de Thompson (THOMPSON *et al.*, 1968)

Os modelos de BROOKER *et al.* (1974) e de HENDERSON *et al.* (1968), constantes da Tabela 3., são simplificações da solução para as equações de difusão, na qual somente o primeiro e o segundo termos da série são considerados, respectivamente. A equação usada por SRZEDINICKI *et al.* (1996), lida com um modelo de relação do tipo Arrhenius com dois termos. A equação utilizada em MANCINI *et al.* (1994) foi desenvolvida, baseada no modelo a duas fases e considera o coeficiente de transferência de massa linearmente dependente da temperatura.

Tabela 2. - Principais equações de cinética de secagem encontradas na literatura.

MODELOS		REFERÊNCIA
$X_r = \exp(-kt), \text{ onde } K = a \exp\left(-\frac{b}{T}\right)$	(06)	Lewis (1921)
$X_r = \exp(-kt^n), \text{ onde } K = a \exp\left(-\frac{b}{T}\right)$	(07)	Page (1949)
$t = a \ln(X_r) + b [\ln(X_r)]^2, \text{ onde } a = c + dT \text{ e } b = e \exp(-fT)$	(08)	Thompson <i>et al.</i> (1968)

$X_r = \exp [(-Kt)], \text{ onde } K = a \exp\left(-\frac{b}{T}\right)$	(09)	Brooker et al. (1974)
$X_r = c \left[\exp(-kt) + \left(\frac{1}{9}\right) \exp(-9Kt) \right], \text{ onde}$ $k = a \exp\left(-\frac{b}{T}\right)$	(10)	Henderson et al.(1968)

Neste contexto, vários trabalhos objetivam o estudo da correlação entre as variáveis operacionais temperatura e vazão do ar na secagem de sementes e os coeficientes difusivos e convectivo de transferência de massa. O modelo difusivo é validado por meio de dados experimentais de secagem de sementes em camada fina (GELY & GINER (2007),

Dentre as equações, o modelo de PAGE (1949) tem sido apontado por vários autores como por exemplo CARLESSO (2005), SILVA *et al.* (2006), RESENDE *et al.*, (2006), MEESO *et al.*, (2006), GELY & GINER (2007), entre outros.

2.2.4. Umidade de equilíbrio

É do conhecimento que a umidade dos grãos se equilibra com a umidade do ar que os envolve, e este ponto de equilíbrio denomina-se “equilíbrio higroscópico”. Neste processo de equilíbrio de umidade, pode ocorrer perda ou ganho de peso, se ceder ou absorver água do ar, respectivamente. As sementes com elevado teor de óleo apresentam o teor de umidade mais baixo do que as de menor conteúdo de óleo no equilíbrio higroscópico. Temperaturas mais elevadas aceleram o estabelecimento deste equilíbrio. Deste modo, as sementes oleaginosas devem ser armazenadas com baixa umidade, que inibem a atividade enzimática e o crescimento de mofo.

Para a modelagem das curvas de umidade de equilíbrio, têm sido utilizadas relações matemáticas semi-teóricas e empíricas, uma vez que nenhum modelo teórico desenvolvido tem sido capaz de prever com precisão o teor de umidade de equilíbrio de grãos em todas as faixas de temperatura e umidade relativa do ar (Brooker *et al.*, 1992; LEHN E PINTO, 2004; LUZ *et al.*,2006; RESENDE *et al.*, 2006;PRADO, 2009).

Na Tabela 2.3, encontra-se descrita os principais modelos matemáticos para a previsão de umidade de equilíbrio de sementes. Dentre as diversas equações utilizadas para expressar o teor de umidade de equilíbrio de sementes, em função da temperatura e umidade relativa de equilíbrio ou atividade de água, algumas das mais utilizadas, pela sua relativa precisão e generalidade de uso, são as de Henderson, Henderson-Modificada, Chung-Pfost, Sab-bah,

Copace e Sigma -Copace (PFOST *et al.*, 1976; SOKHANSAJ *et al.*, 1986; PEREIRA & QUEI-ROZ, 1987; CHEN & MOREY, 1989; apud CORREA,2001; BARROZO *et al.*, 2000; MESQUITA *et al.*, 2001; LEHN E PINTO, 2004; LUZ *et al.*,2006; RESENDE *et al.*, 2006).

Tabela 2. - Modelos matemáticos de umidade de equilíbrio.

MODELOS		REFERÊNCIA
$M_{eq} = \sqrt[b]{\left[\frac{\ln(1 - UR)}{-aT_s} \right]}$	(11)	Henderson
$M_{eq} = \sqrt[b]{\left[\frac{\ln(1 - UR)}{-a(T_s + c)} \right]}$	(12)	Herderson-Thompson
$M_{eq} = \frac{M_m C_g kRH}{(1 - kRH)(1 - kRH + C_g kRH)}$	(13)	GAB
$M_{eq} = -\frac{1}{cT_s^d} \ln\left(\frac{\ln(UR)}{-aT_s^b}\right)$	(14)	Chen-Clayton
$M_{eq} = \sqrt[b]{\frac{\exp(a - c \cdot T_s)}{-\ln(UR)}}$	(15)	Helsey Modificada

Grãos e sementes secos e com baixo nível de danificação mecânica, apresentam condições de estabilidade e tem baixa taxa respiratória durante a armazenagem. O aumento do teor de umidade induz o aumento desta taxa e o aumento da taxa metabólica dos fungos presentes na superfície e no interior destes grãos. A energia liberada, na forma de calor, proporciona o aumento da temperatura da massa de produto (Tripples, 1995).

A presença da água no produto pode ser medida de diferentes formas, mas nem todos os métodos indicam a disponibilidade da água para os microrganismos, uma vez que nem toda a água do grão está igualmente disponível. A disponibilidade de água em materiais higroscópicos, tais como frutos e derivados, é melhor indicada pela atividade de água (Aw) ou pela umidade de equilíbrio com a umidade relativa do ar ambiente. A atividade de água e a umidade relativa, quando atingido o equilíbrio, são numericamente iguais (Brooker *et al.*, 1992).

2.3. Atributos de qualidade

2.3.1. Caracterização Física

A forma e tamanho são os fatores mais comuns para a separação entre grãos. O tamanho do grão é determinado pelas três dimensões (comprimento, largura e espessura) e a caracterização é feita com um intervalo seguro de confiança.

As sementes de girassol apresentam algumas características que a tornam de incomparável valor, tais como o tamanho e forma. Além disso é também um órgão que usualmente se beneficia da desidratação, permitindo a conservação em bom estado durante muito tempo (CELESTINO,1998; COUTO *et al*,1999; MEESO *et al*, 2006).

MONSENIN (1986) relata que informações concernentes ao tamanho e forma, ângulo de repouso e massa específica, porosidade, entre outras, são consideradas de grande importância para estudos envolvendo transferência de calor e massa e movimentação de ar em massas granulares; além disso, essas propriedades são influenciadas pelo teor de água do produto. No Brasil, muitos pesquisadores têm avaliado as características de forma, tamanho, massa específica e porosidade de diversos grãos, como: cacau, feijão, mamona, milho, trigo e outros (CAVALCANTI MATA *et al.*, 1986; COUTO *et al.*, 1999; OLIVEIRA NETO *et al.*, 2005).

VECHI (1970), trabalhando com *Vigna sinensis*, verificou que sementes “pequenas” germinavam mais rapidamente, mas apresentava desenvolvimento inicial menos vigoroso, em relação ao proporcionado por sementes “grandes”.

Outras medidas que são tomadas para caracterização das sementes são: diâmetro equivalente, esfericidade, massa específica, volume e porosidade.

PAVANI (1992) define o grau de esfericidade como sendo uma relação entre a área da superfície de uma esfera, que tenha o mesmo volume da partícula, e a área da superfície da mesma, e o volume real como sendo o volume ocupado pelo produto (BENEDETTI, 1987).

Na Tabela 2.4 é apresentado algumas equações matemáticas que são utilizadas para determinação da esfericidade (16), massa específica aparente (17) e volume (18).

Tabela 2. - Equações matemáticas utilizadas para determinação da esfericidade, massa específica e volume.

Fórmula	Nomenclatura
	S= Esfericidade
	a = medida do maior eixo do grão (mm).
	b = medida do eixo normal ao eixo a (mm).
	c = medida do eixo normal aos eixos a e b (mm)
$S = \frac{\sqrt[3]{abc}}{a}$ (16)	
	ρ_{ap} = massa específica aparente (Kg. m ⁻³)
	m = massa do produto (kg)
$\rho_{ap} = \frac{m}{V}$ (18)	
	V = volume do recipiente (m ³);
$Y = a + bU + cU^2 + dU^3$ (19)	Y = massa específica aparente (Kg. m ⁻³)
	U = Teor de água do produto (% b.u.)

Fonte: MONSENIN (1986)

Deste modo, a qualidade das sementes pode ser definida como um conjunto formado por todos os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que contribuem para a formação de plantas vigorosas, capazes não só de promover uma rápida emergência, mas também de garantir o seu estabelecimento, além de proporcionar crescimento e floração uniformes, garantindo desta forma uma alta produtividade.

2.3.2. Avaliação da Qualidade das Sementes

De uma forma geral, os atributos de qualidade são avaliados utilizando diferentes técnicas de secagem. RAUPP (1999) durante estudos dos efeitos da secagem intermitente lenta de grãos de milho avaliou a qualidade fisiológica (através do teste de germinação e o vigor) e a química pela solubilidade protéica, concluindo que os experimentos realizados com temperaturas acima de 60°C apresentaram reduções significativas no vigor e na germinação das sementes e estas alterações foram atribuídas ao efeito térmico sobre a atividade das enzimas do metabolismo celular.

O beneficiamento envolve todas as operações que visam o aperfeiçoamento das características das sementes, até colocá-lo em condições de ser comercializado. Condições inadequadas de operação das diversas etapas do beneficiamento, das quais a secagem é uma delas, também podem levar à redução da qualidade das sementes. Neste contexto, o grau de umidade influencia muito a qualidade do produto armazenado, sendo que grãos com alto grau de umidade constituem um meio ideal para o desenvolvimento de microorganismos, insetos e ácaros.

Os grãos e sementes podem ser duráveis, mas são também altamente perecíveis. Se forem colhidos em boas condições e subsequentemente mantidos com baixos teores de umidade e baixa temperatura, eles podem reter seu poder de germinação e outras qualidades por longos períodos (SILVA, 2007).

A qualidade fisiológica é avaliada através de índices de germinação. Entretanto, a qualidade das sementes é um conceito múltiplo que compreende diversos componentes. Os testes de germinação, realizado em condições ambientais ótimas, não são suficientes para prever a capacidade de desempenho da semente no campo, onde as condições são amplamente variáveis. Por esta razão, a qualidade fisiológica das sementes deve ser avaliada também através de testes de vigor. Assim, os testes mais usados para avaliação são vigor e germinação.

2.3.2.1. Vigor das Sementes

O vigor da semente é definido por características fisiológicas da semente que podem influenciar sobre todo o ciclo da planta e sobre a sua produtividade no campo. O vigor detecta as modificações mais sutis resultantes da deterioração, estas não são revelados pelo teste de germinação (POPINIGIS, 1985).

Entretanto torna-se relevante diferenciar o vigor fisiológico e o genético: o vigor fisiológico é observado entre lotes de uma mesma linhagem genética, cultivar ou espécie, enquanto o vigor genético é observado na diferença de vigor entre duas linhagens (POLLOCK e ROOS, 1972).

O vigor fisiológico não tem uma definição aceita por todos. De acordo com BRANDNOCK (1975) existem dois conceitos: o primeiro leva em consideração um determinado comportamento da semente, por exemplo, tempo de germinação rápida, enquanto o outro considera todos os aspectos, por exemplo, potencial de armazenamento, rapidez na germinação, resistência a fatores adversos, etc.

Os conceitos sobre vigor das sementes são bem variáveis. Segundo WOODSTOCK (1969): “vigor é aquela condição de saúde boa das sementes, que permitem que estas, no solo, germinem de forma rápida e completa, dentro de uma ampla faixa de condições ambientais”. Porém, para CHING (1973): “vigor pode ser definido como o potencial para uma germinação rápida e uniforme com um crescimento rápido da plântula em condições normais do campo”.

Deste modo, a avaliação do vigor tem se tornado uma ferramenta de uso cada vez mais freqüente nas indústrias de sementes para se obter uma análise da qualidade fisiológica (KRZYZANOWSKI, 1999).

A análise do vigor das sementes tem como objetivo:

- i) Detectar diferenças significantes na qualidade fisiológica de lotes com germinação semelhante, enriquecendo assim as informações obtidas no teste de germinação;
- ii) Classificar lotes de alto e baixo vigor. Essa classificação pode ser atribuída observando quanto ao tempo de surgimento das plântulas, resistência ao transporte, potencial de armazenamento, etc.

Este teste consiste em submeter as sementes a condições extremamente adversas, onde os processos de deterioração são acelerados. Coloca-se um lote de 200 sementes numa câmara de envelhecimento precoce, com temperatura de 40°C e umidade relativa de 100%, durante um período de 48 horas. Após o período de exposição as sementes são submetidas ao Teste Padrão de Germinação (MARCOS FILHO *et al*, 1987).

2.3.2.2. Teste de germinação

A germinação é o reinício do crescimento do embrião paralisado nas fases finais da maturação. Neste sentido, a germinação é a capacidade da semente de produzir plântula que, pelas características de suas estruturas essenciais, demonstre sua aptidão para produzir planta normal sob condições favoráveis de campo. É avaliada pelo teste de germinação, no qual são oferecidas à semente as mais favoráveis condições ambientais, de modo a obter-se a máxima germinação possível (POPINIGIS, 1985).

Para que germine a semente deve estar viva e não dormente. O período que uma semente pode viver é aquele determinado por suas características genéticas e recebe o nome

de longevidade. O período que a semente realmente vive é determinado pela interação entre fatores genéticos e fatores ambientais; esse período recebe o nome de viabilidade.

Para CARVALHO & NAKAGAWA (2000), os fatores ambientais que influem sobre o processo germinativo são: água, temperatura e oxigênio.

O número de sementes a se utilizar no Teste Padrão de Germinação (TPG) devem ser no mínimo 400, divididas em repetições 4x100, 8x50 ou 16x25; estas devem ser colocadas para germinar em substrato próprio, previamente umedecido, a fim de dar às sementes a quantidade de água necessária para sua germinação. Após o preparo das amostras, os recipientes são colocados em germinadores, por um período de tempo e a uma temperatura que dependem da espécie em estudo. Alguns dias após o início do teste, é realizada a primeira contagem de plântulas germinadas e infeccionadas. As amostras são então refeitas e recolocadas no germinador com as sementes restantes, por mais alguns dias, quando então se procede a última contagem. (MYASAKA e MEDINA, 1980).

2.3.3. Atividade Enzimática

No geral, as sementes submetidas a secagem perdem parcialmente ou totalmente o vigor fisiológico e biológico quando comparada a semente in natura. Tem sido sugerido que a perda deste viabilidade durante a secagem é acompanhada por um aumento da peroxidação de lipídeos e acúmulo de radicais livres (ROSA *et al*, 2005)

As enzimas constituem um grupo de proteínas que exerce função importante na catalização de reações enzimáticas de oxidação das substancias de reserva no suprimento energético e na síntese de novos compostos (ELCHELBERGER *et al*, 2002)

Segundo Fernandez-Moya e colaboradores (2000), é possível que o potencial de produção de triacilgliceróis sejam permanentemente alterados pela secagem, resultando em perde de atividade enzimática e conseqüentemente do potencial biológico.

Com base na avaliação e no vigor fisiológico e biológico a atividade enzimática de algumas enzimas são testadas, tais como as atividades das enzimas lípase, peroxidase, entre outras.

2.3.3.1. Lipase

Na literatura relata-se que para a determinação do potencial de produção de ésteres após a secagem, foram realizados estudos quanto ao potencial da enzima lipase em diferentes grãos e sementes, onde foram observados maiores atividades enzimática para tratamentos térmicos com temperaturas inferiores a 50°C (ROSA *et al*, 2005)

As lípases são enzimas com elevado potencial biológico, pois são capazes de catalisar inúmeras reações, não apenas a hidrólise de triacilgliceróis, mas também de reação de síntese reversa (esterificação, transterificação e interesterificação) (FERNANDEZ *et al*, 2002)

Os perfis de triacilglicerol (TAG) são estudados após a hidrólise de óleos utilizando as sementes com fontes de lipase. A deterioração de algumas sementes ocorre devido ao seu alto conteúdo de triglicerídeos. Durante este processo, as gorduras presentes nas sementes sofrem alterações por vias oxidativas e, principalmente, hidrolíticas. Esta última via, mediada por lípases, resulta na produção de ácidos graxos livres (RUPOLLO *et al*, 2004)

STAUBMANN *et al.* (1999) identificaram a banda da lipase nos extratos enzimáticos dormente e germinado. O extrato da semente germinada apresentou uma excelente capacidade catalítica, chegando a 100% de conversão em ácidos graxos livres; enquanto na semente dormente, a capacidade catalítica de hidrólise foi baixo.

Estes resultados indicam que o processo controlado de germinação das sementes de pinhão manso é fundamental para a produção desta lipase vegetal. Diferentemente do que ocorre na semente de outras euforbiáceas, como a mamona, que possui lipase ativa tanto na semente dormente (não germinada), quanto na germinada (EASTMOND, 2004).

2.3.3.2. Peroxidase

A necessidade da identificação completa da qualidade das sementes aconselha o uso de um conjunto de testes eficientes, que, associados à análise de pureza física e teor de água, possam caracterizar os lotes de sementes. Dentre os testes úteis e complementares, para definir a qualidade física dos lotes, podem ser citados os testes de identificação, tais como fenol, hidróxido de potássio e da peroxidase.

A peroxidase pertence a uma classe de proteínas que tem como função oxidar uma variedade de doadores de hidrogênio (CHEN, 2000; DURAN, 2000).

A peroxidase é uma importante enzima das plantas e está envolvida em diversas reações, ligações de polissacarídeos, oxidação do ácido indol-3-acético, ligações de monômeros, lignificação, cicatrização de ferimentos, oxidação de fenóis, defesa de patógenos, regulação da elongação de células e outras (GASPAR *et al.*, 1982; KAO, 2003).

Estudos realizados na literatura, tal como o de BUTERY & BUZZELL apud ROSA (2006) mostram que as sementes são classificadas em diversos cultivares de soja com base na atividade alta ou baixa da peroxidase no tegumento da semente. Para isso foi utilizado dois métodos um teste rápido utilizando o reagente guaiacol e um teste envolvendo eletroforese em gel.

Existe um grande interesse por esta enzima, devido as suas múltiplas aplicações em laboratórios de pesquisa, como por exemplo, na construção de biossensores, na indústria de papel e celulose, de alimentos, em análises bioquímicas, entre outras.

A atividade da peroxidase presente no extrato bruto é bastante citada na literatura através da utilização do guaiacol como substrato. O guaiacol, em geral, está presente em procedimentos extremamente simples, rápidos e de baixo custo. Este reage com o peróxido de hidrogênio na presença da peroxidase formando o tetraguaiacol de coloração alaranjada. Nesta reação, o peróxido de hidrogênio é reduzido e o guaiacol, oxidado, atua como doador de prótons. Desta maneira, somente as frações contendo a peroxidase são analisadas determinando-se a concentração de proteínas totais, atividade total e atividade específica, diminuindo significativamente o número de determinações, o gasto com reagentes, o tempo do analista e, destacadamente, a geração de resíduos (ZERAİK,2008).

Testes eletroforéticos foi utilizado por CAMPOS (2004) para os extratos enzimáticos para a avaliação da presença da peroxidase. Observou que tanto nos tratamentos de indução de resistência, quanto no tratamento com o patótipo virulento, o aparecimento de uma nova banda protéica com atividade peroxidásica. Peroxidases e polifenoloxidasas lideram a degradação oxidativa de compostos fenólicos próximo ao local da descompartimentalização celular provocada por patógenos. Um dos resultados mais estudados deste fenômeno é o aparecimento de substâncias escuras provenientes da polimerização oxidativa das quinonas (MACHEIX *et al*,1986; BINDSCHIEDLER *et al*, 2002).

Além dos teste de atividades enzimáticas, a contaminação das sementes também são avaliadas. Em muitas doenças, modificações metabólicas foram demonstradas como fator promotor da inibição do crescimento do patógeno. Compostos produzidos pela planta, durante

o processo de doença, têm desempenhado um papel crucial na resistência ao organismo invasor (BINDSCHEDLER *et al*, 2002).

2.3.4. Patógenos do girassol

A contaminação das sementes é um dos principais parâmetros a ser estudados, pois algumas bactérias podem causar intoxicações e infecções alimentares, representando riscos à saúde. Além da presença de vários outros fungos, *Mucor circinelloides* e *Rhizopus sp.* são normalmente encontrados em solos, vegetais, frutas e grãos armazenados, e são considerados contaminantes comuns dos locais onde os produtos armazenados são processados.

Durante o período de armazenamento, fungos xerófilos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, chamados fungos de armazenamento, progressivamente substituem os fungos de campo. A ação dos fungos é ativada a partir de um limite de atividade de água nos grãos, estando em torno de 0,72 de atividade de água na temperatura de 20°C (SCUSSEL, 2002).

A literatura internacional se refere a 12 fungos e 1 vírus como patógenos associados a sementes de girassol, além de 11 fungos saprófitas ou patógenos fracos; destes, são de considerável importância econômica: *Bobytis cinerea*, *Plasmopara halstedii*, *Puccinia helianthi*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Septoria helianthi*, *Verticillium albo-atrum*, *Alternaria helianthi*, *Phoma oleraceae*.

No Brasil foram constatados 22 patógenos e 14 saprófitas associados a sementes de girassol (MENTEN, 1985). Destes, merecem destaque pela frequência com que ocorrem, pelos prejuízos causados à cultura ou pelo potencial de danos:

- i. *Alternaria helianthi*: provavelmente o principal agente causal da mancha da folha e da haste no Brasil, sendo frequentemente detectada em sementes.
- ii. *Sclerotinia sclerotiorum*: patógeno também frequentemente transportado pelas sementes, podendo ser introduzido em novas áreas das quais dificilmente erradicado, devido à longa viabilidade dos escleródios no solo.
- iii. *Plasmopara halstedii*: patógeno também dificilmente erradicado após ser introduzido em nova área (oosporos). Constitui objeto de quarentena categoria “A”, sendo necessária completa proibição da importação de sementes de regiões onde a doença ocorre.

- iv. Outros patógenos como *Verticillium* sp., *Fusarium semitectum*, *Botrytis cinerea*, *Phoma* SP, e fungos de armazenamento como *Aspergillus* spp. E *Penicillium* spp.

Na secagem de soja, o percentual de sementes que germinaram foi menor no grupo de semente que sofreram tratamento de fungicidas, os teores de proteínas não foram influenciados pelos dessecantes, os fungos filopatogênicos de maior ocorrência foram *Fusarium* sp. e *Phomopsis* sp. (LACERDA, 2003)

A presença de patógenos, também reduz a qualidade fisiológica das sementes, indicada pela germinação e pelo vigor. Vigor de sementes é a soma de atributos que confere a semente o potencial para germinar, emergir e resultar rapidamente em plântulas normais sob ampla diversidade de condições ambientais.

Em seus estudos GOMES (2006) observou fatores importantes, que afetam a qualidade das sementes de girassol durante o armazenamento, que foram a temperatura e a umidade relativa do ar. Observou que o teor de água mostrou-se diretamente relacionado com o tamanho das sementes, tanto no início como no fim do período de armazenamento. Na germinação, observou-se que não ocorreram diferenças significativas com relação ao tamanho das sementes, bem como, quanto ao período de armazenamento.

O *Fusarium* é um fungo encontrado no campo, invade as sementes e grãos durante o amadurecimento e o dano é causado antes da colheita e continua após a secagem. Pesquisas alertam que dependendo das condições de temperatura e umidade, este fungo pode também ser encontrado durante o armazenamento dos produtos. As toxinas produzidas por este grupo de fungos foram detectadas naturalmente em vários alimentos, principalmente em milho e derivados produzidos em vários países, inclusive no Brasil, indicando a exposição do homem às micotoxinas. (VECCHIA, 2007)

A presença de aflatoxina é um dos parâmetros analisados na verificação da qualidade dos produtos, a fim de prevenir e garantir a melhoria da qualidade sanitária dos alimentos comercializados no país. Porém a resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001 da Anvisa, (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) que gerencia o Programa Nacional de Monitoramento da Qualidade Sanitária de Alimentos (PNMQSA), não faz referência à contagem de fungos e leveduras em granolas.

MOSS, (1996) estudou diversos produtos de origem vegetal e verificou a atividade de água mínima para a sobrevivência dos principais fungos sob condições ótimas de temperatura

(26 a 30°C). Os valores obtidos para os microrganismos estudados se encontram na Tabela 2.4.

Tabela 2. - Atividade de água (Aw) mínima para sobrevivência de fungos.

Fungos	Atividade de Água
<i>Aspergillus restrictus</i>	0,70
<i>Aspergillus halophilicus</i>	0,68
<i>Aspergillus glaucus</i>	0,73
<i>Aspergillus candidus</i>	0,80
<i>Aspergillus ochraceus</i>	0,80
<i>Aspergillus flavus</i>	0,85
<i>Penicillium</i> (diversas espécies)	0,85

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Material

Nos experimentos foram utilizadas sementes de girassol da variedade Embrapa 122 V2000, com alto teor de óleo, fornecidos pela Embrapa/SNT/EM localizada em Dourados-MS.

O produto foi armazenado dentro do laboratório, a temperatura média de 22°C e umidade relativa média de 60%, para melhor conservação dos produtos até a fase final dos experimentos.

3.2. Equipamento

Para a secagem das sementes foi utilizado um determinador de umidade infravermelho sem balança, do fabricante Quimis cujo modelo é o Q333D-2 , mostrado na Figura 3, com uma potência da lâmpada infravermelha de 250 W.



Figura 3. - Determinador de umidade infravermelho sem balança.

3.3. Metodologia experimental

3.3.1. Caracterização Física das sementes

Através de um paquímetro, com precisão de 0,001 milímetros, foram medidos comprimento (C), largura (L) e espessura (E) de quatrocentos grãos de girassol individualmente, retirados ao acaso. Os resultados foram expressos em mm. As amostras também foram pesadas e determinadas a sua massa. Em seguida as sementes foram descascadas e refeitas as medidas, para se determinar o valor médio do núcleo do girassol.

O diâmetro equivalente d , foi calculado com base nas dimensões medidas por paquímetro, segundo equação descrita por Mohsenin (1986) como:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{C \cdot L \cdot E} \quad (3.1)$$

Para determinar do valor da esfericidade foi aplicada a equação descrita por Mohsenin (1986) como:

$$\phi = \frac{D_{eq}}{L} \quad (3.2)$$

3.3.2. Processo de reumidificação

A reumidificação das sementes foi realizada, através de um processo lento de adsorção de umidade. As amostras foram colocadas em atmosfera de vapor saturado, proveniente de um banho termostatizado, mantido à temperatura de 35°C.

Para a obtenção do teor de umidade inicial do material, a massa de sólido seco foi determinada no fim de cada experimento pelo método da estufa à 105°C por 24 horas (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1992).

Após a reumidificação para teores em torno de 25% de umidade (base seca), as sementes de girassol eram acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e armazenadas por 12 horas a 20°C e então submetidas ao processo de secagem.

3.3.3. Experimentos de secagem infravermelho

Os testes de secagem foram conduzidos na unidade esquematizada na Figura 3.2, postas em uma placa, em monocamada, distante 17 cm da fonte de radiação. As temperaturas da fonte de aquecimento infravermelho ao qual foram submetidas as sementes foram de 40°, 65°, 80°, 93° e 105°C. Essas temperaturas foram determinadas por trabalhos anteriores, no intuito que os grãos atingissem as mesmas temperaturas da secagem convectiva: 30, 40, 50, 60 e 70°C, respectivamente. A umidade relativa do ambiente ficou em torno dos 70% \pm 4.

Pesagens foram feitas em intervalos de tempo pré-determinados, obtendo-se a massa de água evaporada por diferença das pesagens efetuadas. Ao final de cada experimento, a massa de sementes secas foi determinada pelo método direto da estufa.

Foi realizada secagem intermitente, com o intuito de medir a temperatura do material durante o processo utilizando-se um termômetro. As sementes foram postas em monocamada sob influencia da radiação Infravermelho (conforme esquema da Figura 3) e em intervalos pré-determinados foram transferidas para um calorímetro onde aguardava a estabilização da temperatura e através de um termômetro tipo espeto foi realizada a leitura da temperatura atingida pela semente.

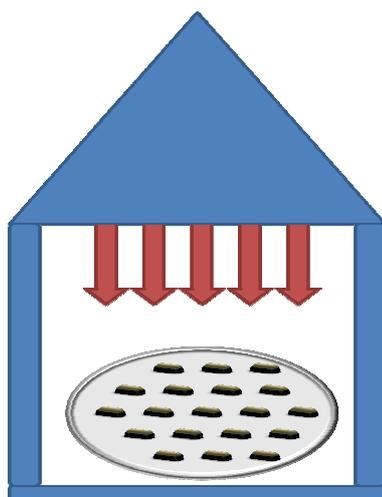


Figura 3.- Esquema do secador infravermelho

Em seguida as sementes foram pesadas e postas novamente sob efeito da radiação. Ao final de cada experimento, a massa de sementes secas foi determinada pelo método direto da

estufa, com temperatura de $105,0 \pm 3,0$ °C por 24 horas, de acordo com as “Regras para Análise de Sementes do MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1992).

3.3.4. Determinação de atividade de água

Os teste de atividade de água foram realizados utilizando um AquaLAB. As sementes foram postas em monocamadas e expostas a radiação infravermelho. Em tempos pré-determinados foi levado ao aparelho e determinado a sua temperatura e a sua atividade de água. Foram avaliadas sementes com e sem tegumento.

3.4. Tratamento e Análise de dados

Todos os experimentos envolvendo a secagem das sementes de girassol foram feitos em camadas finas (monocamadas). De posse dos dados obtidos com a medição da massa nos diferentes intervalos de tempos no processo de secagem por infravermelho, e com a determinação da massa de sólido seco, foram levantadas as curvas de cinética de secagem do material. O levantamento das curvas de secagem foi obtido de acordo com a equação abaixo.

$$XR = \frac{X - X_{eq}}{X_{eq}} \quad (3.3)$$

Outra maneira utilizada para se caracterizar o comportamento do material durante a secagem infravermelho foi por meio da taxa de secagem em função to teor de umidade. Os valores da taxa de secagem foram obtidos por derivação numérica através do software Origin 8.0

Para tratamento e análise do comportamento cinético da secagem das sementes de girassol, utilizou-se modelo difusivo e o de Page (Can, 2007; Freire et al., 2005).

$$CI: X(r,0) = X_0$$

$$CC1: \left. \frac{\partial X(r,t)}{\partial r} \right|_{r=0} = 0$$

$$CC2: X(R,t) = X_e$$

$$\frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} = \sum_{j=1} \frac{6}{(j\pi)^2} \exp\left[-(j\pi)^2 \frac{D_{ef}}{R^2} t\right] \quad (3.4)$$

Inicialmente, os parâmetros das equações do modelo difusivo e de Page foram estimados em cada temperatura, utilizando inicialmente uma regressão não linear pelo método dos mínimos quadrados, no software estatística 8.0. Em seguida foram analisadas todos os dados inserindo a dependência da temperatura na equação.

Foram utilizados como critérios estatísticos para selecionar a mais adequada equação o coeficiente de relação R^2 (ROBERTS 36T *al*,2008; SACILIK, 2007), o erro padrão de estimação, SEE e o DVM (CELMA *et al*,2008; ABALONE *et al*,2006).

3.5. Atributos de qualidade

3.5.1. Qualidade fisiológica

A qualidade fisiológica foi verificada através do teste de germinação. Este teste foi conduzido em triplicata com duas repetições, com 100 sementes cada. As sementes foram postas em papel toalha tipo Germitest umidecido com água destilada. As sementes permaneceram em uma sala onde a temperatura ambiente ficava em torno dos 25°C. As avaliações foram feitas através de contagens diárias durante 10 dias, segundo recomendações das Regras para Análise de Sementes BRASIL (1992). Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.5.2. Análise físico-química

Após serem submetidas ao processo de secagem por radiação infravermelho, as sementes foram trituradas em um moinho de facas.

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com os métodos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (1985). A composição aproximada das sementes foi descrita conforme disposto abaixo:

- Cinzas: O teor de foi determinado utilizando a técnica conforme procedimento da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995), em triplicata. Para a determinação do teor de cinzas foi realizada a calcinação das amostras a 550°C, até peso constante. As cinzas residuais foram calculadas pela diferença entre o peso com a amostra calcinada e o peso do cadinho. Os resultados foram expressos em porcentagem.
- Lipídeos: Determinação feita relacionando o teor de gordura com extração através de solventes (éter de petróleo). Os testes foram realizados em triplicata, utilizando a técnica conforme procedimento da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995), no qual 5,0 gramas da amostra são colocados em um papel filme e amarrado com um barbante e posto dentro de um tubo de soxhlet. O tubo é conectado a um balão de boa esmerilhada contendo 180 mL de solvente e vedado com papel tipo parafina, que por sua vez é posto sobre uma placa aquecida a temperatura de 50°C. Neste aparato experimental, o solvente fica sob refluxo e o processo de extração é realizado de forma intermitente durante 04 horas, contadas a partir do primeiro refluxo. Após este processo o solvente é recuperado por destilação e o óleo determinado por diferença de peso. Os resultados foram expressos em porcentagem.
- Proteínas: O teor de proteínas foi determinado pelo método Kjeldahl. Este método envolve a determinação de nitrogênio total de origem orgânica, o que implica na dosagem simultânea do nitrogênio proveniente de outras fontes além da proteína, tais como ácidos nucleicos, lipídeos nitrogenados, pigmentos nitrogenados, etc. A conversão do nitrogênio compreende três etapas: digestão da amostra, liberação da amônia por hidróxido de sódio (destilação) e a titulação da amônia por via direta ou indireta. Neste tranalho utilizou-se cerca de 0,5g da amostra em papel vegetal (isento de nitrogênio), onde foi transferido para o balão digestor de kjeldahl, em seguida acrescentar mistura catalítica e 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, aquecendo-se por 30 minutos. Quando frio, adicionou-se ao balão digestor cerca de 5 mL de peróxido de hidrogênio concentrado, até que se obtenha um líquido claro. Cuidadosamente, adicionou-se 40ml de água destilada e transferiu o líquido para um balão

volumétrico de 100 mL, procedendo assim a destilação utilizando o volume total digerido ou alíquota (10 mL) do volume de 100 mL (balão volumétrico), utilizando a técnica conforme procedimento da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995). Após processo de destilação titula-se com solução padrão de HCl 0,1N, com fator conhecido, até ponto de viragem do indicador. O fator de conversão foi de 6,25 (fator geral)

- Fibra bruta; Determinado utilizando a técnica conforme procedimento da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995). Os resultados foram expressos em porcentagem.
- Carboidrato: Realizado em triplicata e determinado por diferença.

3.6. Análise bioquímica

3.6.1. A atividade lipolítica

3.6.1.1. Lipase

A Atividade foi determinada pelo método de hidrólise do azeite de oliva de acordo com o procedimento descrito por SOARES *et al.* (1999), com algumas modificações. O substrato foi preparado pela emulsão de 50 mL de azeite de oliva e 3.5g de goma arábica dissolvida em 50mL de água destilada. Em frascos Erlenmeyer de 125mL foram adicionados: 5mL de substrato, 2mL de solução tampão fosfato de sódio (0,1 M, pH 7,0) e cerca de 0,3 g semente moída sem casca antes e após o processo de secagem.

Os frascos foram incubados a 37°C por 60 minutos em banho termostatizado com agitação. Durante o período de incubação, a reação era paralisada em tempos pré-estabelecidos para se efetuar a coleta cerca de 0,3g de amostra. Após a coleta foi adicionado 2mL de uma mistura de acetona, etanol (99%) e água destilada (1:1:1). Os ácidos graxos liberados foram titulados com solução de KOH 0,05N, utilizando fenolftaleína como indicador (2 gotas).

Os cálculos foram realizados pela equação 3.5 e uma unidade de atividade é definida como a quantidade de enzima que libera 1µmol de ácido graxo por minuto de reação, nas condições do ensaio. As atividades foram expressas em µmol/g.min (U).

$$\text{Atividade}(\mu\text{mol/mg}\cdot\text{min}) = \frac{(V_A - V_B) \times N \times 10^6}{t \times m} \quad (3.5)$$

3.6.1.2. Peroxidase

A atividade da peroxidase presente no tegumento da semente foi determinada conforme MENEZES (2004), com algumas modificações. Utilizou-se o guaiacol como substrato. Em uma alíquota de 3,0 mL de solução fosfato 0,1mol L⁻¹ (pH 6,5) foram adicionados 3,0 mL de guaiacol 15,0 mmolL⁻¹ e 3,0 mL de peróxido de hidrogênio a 3mmol L⁻¹. Após a homogeneização dessa solução adicionaram-se as amostras das sementes nas seguintes valores (0.5 , 1.0 , 1.5, 2.0 e 3.0 g). Após 1 minuto as amostras foram transferidas para um bastão de vidro e levadas para a centrífuga por mais um minuto. Em seguida a absorbância do tetraguaiacol formado foi medido em 470nm. Foram realizados controles (brancos) do substrato e da enzima, para verificar se estes não absorviam no mesmo comprimento de onda do produto de oxidação formado (tetraguaiacol).

Para a realização do cálculo da atividade enzimática, em U g⁻¹, foi empregada a equação :

$$U/g = \frac{A}{\epsilon} * \frac{1}{Ma} * \frac{1}{t} * 1000 \quad (3.6)$$

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Distribuição do tamanho dos grãos

Sementes de girassol foram medidas conforme metodologia descrita no item 3.3.1. Com os valores obtidos, foi determinada a distribuição normal dos dados utilizando o software *Statistica 7.0* para fixação da faixa ótima de trabalho. A Figura 4.1 mostra o número de sementes com casca em função do seu comprimento.

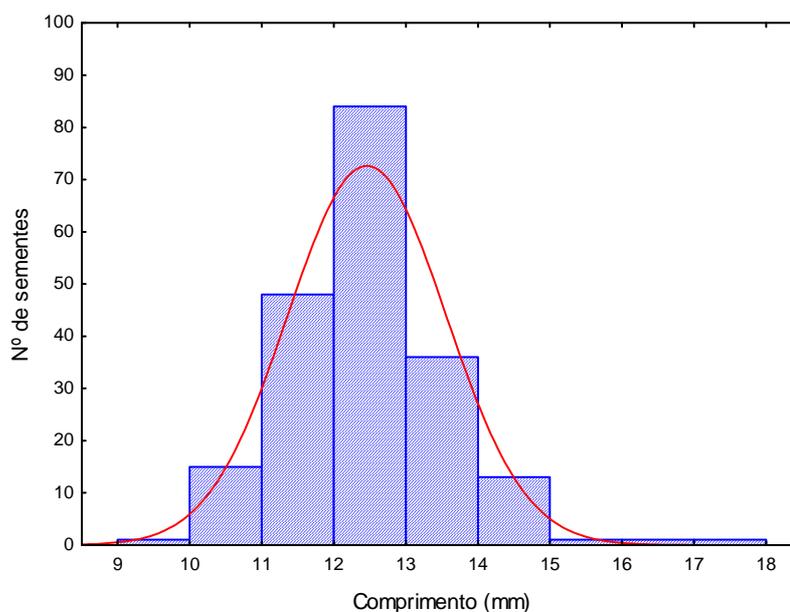


Figura 4. - Histograma dos números de sementes com casca quanto ao valor do comprimento (mm).

A faixa de aceitação para a separação das sementes foi determinada em função do comprimento. As sementes foram selecionadas para os experimentos de acordo com o comprimento que ficou estabelecido entre 12,0 - 13,0 mm conforme Figura 4.1, pois sementes com este valor médio proporcionavam uma faixa de 9,500 - 10,500 mm para sementes descascadas, conforme a Figura 4.2.

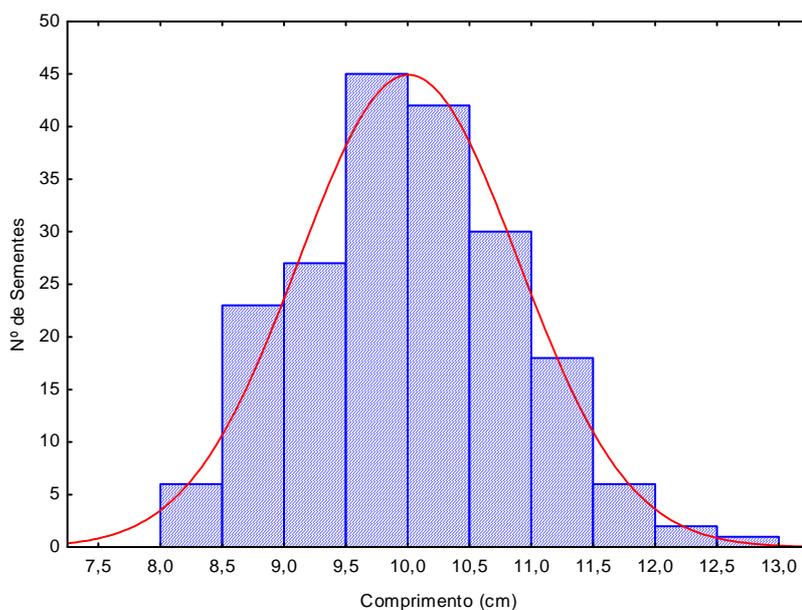


Figura 4. - Histograma dos números de sementes sem casca quanto ao valor do comprimento (mm).

De posse dos resultados obtidos com a distribuição normal para semente com casca e visando minimizar os efeitos da influência do tamanho nos resultados obtidos todos os experimentos foram realizados com sementes selecionadas dentro dos valores médios da distribuição normal com casca que ficou entre 12 e 13,00 mm.

4.2. Processo de Reumidificação

Esta etapa do experimento consiste em poder trabalhar com a semente próxima das condições na hora da colheita. Na Figura 4.4 são apresentados os resultados de cinética de adsorção de umidade pelas sementes de girassol exposta a uma atmosfera de vapor quase saturado (Temperatura entre 30 – 35°C), a partir da qual pode ser observado que no processo lento de adsorção a semente leva em torno de 24h para atingir o teor de umidade de colheita (0,25 b.s.).

A semente de girassol é dividida em duas partes: casca (ou tegumento) e kernel. As sementes de girassol quando armazenadas possuem um teor de umidade por volta de 8% b.s., sendo que a casca possui um teor de umidade aproximado de 7,02% b.s. e o kernel 9,75%. A semente inteira quando passa pelo processo de reumidificação adquire um teor de umidade em

torno dos 25,58% b.s. Quando descascadas, a casca fica com um teor de umidade de 27,72% b.s. e o kernel com um teor de umidade em torno de 23,45% b.s.

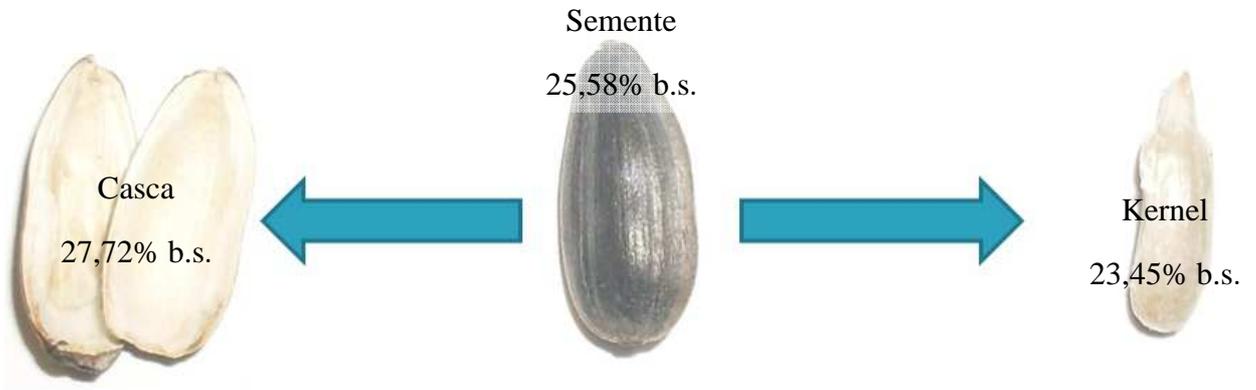


Figura 4. - Parte da semente de girassol

Na Figura 4.4 são apresentados os resultados de cinética de adsorção de umidade pelas sementes de girassol exposta a uma atmosfera de vapor quase saturado (Temperatura entre 30 – 35°C), com e sem a casca.

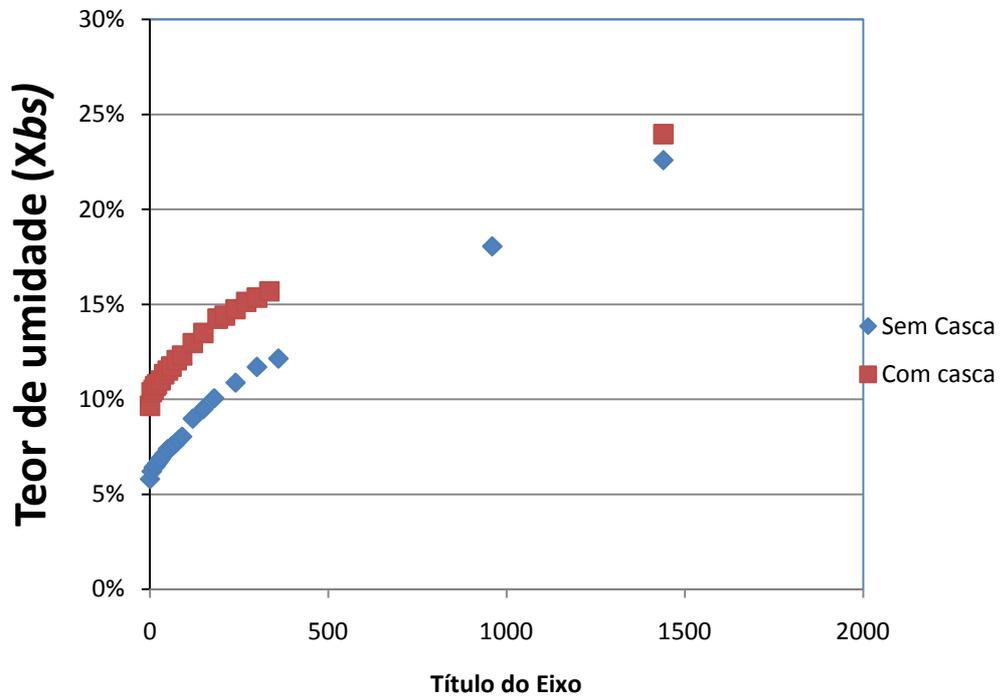


Figura 4. - Teor de umidade em função do tempo, durante o processo de reumidificação de sementes de girassol para sementes com e sem casca.

A cinética de adsorção de umidade da semente com casca se dá de forma mais intensa (Figura 4.4), pois a casca é composta praticamente por fibras, que auxiliam no processo de ganho de umidade.

4.3. Cinética de secagem

A seguir são apresentados os resultados referentes a cinética de secagem das sementes obtidos utilizando o secador infravermelho.

Inicialmente a fim de avaliar a reprodutibilidade dos dados, as Figuras 4.5 e 4.6 apresentam os resultados de umidade adimensional e temperatura em função do tempo, respectivamente, obtido a partir de experimentos realizados em duplicatas. Os desvios entre os dados experimentais foram inferiores aos erros de medida, evidenciando que a metodologia experimental empregada mostrou-se adequada.

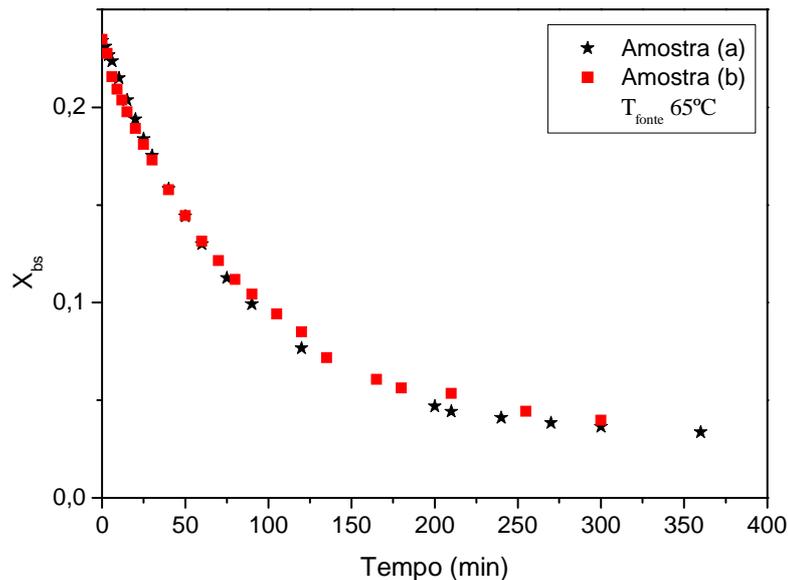


Figura 4. - Adimensional de umidade em função do tempo, durante a secagem contínua em secador infravermelho a temperatura de 80°C.

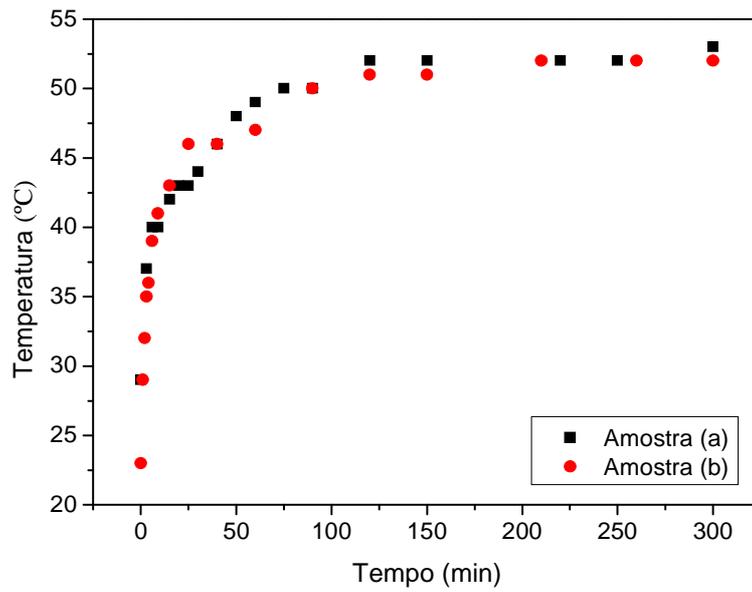


Figura 4. - Temperatura atingida pelas sementes secas no secador infravermelho a 80°C em função do tempo.

A umidade relativa durante o processo de secagem, tanto para a secagem de forma contínua quando a forma intermitente sofreram variações devidas as condições ambiente ficando na faixa de $75 \pm 10\%$.

4.3.1. Secagem Contínua

Na Figura 4.7 são apresentados os resultados típicos do adimensional de umidade em função do tempo para as diferentes temperaturas da fonte de radiação infravermelho para secagem no modo de operação contínuo.

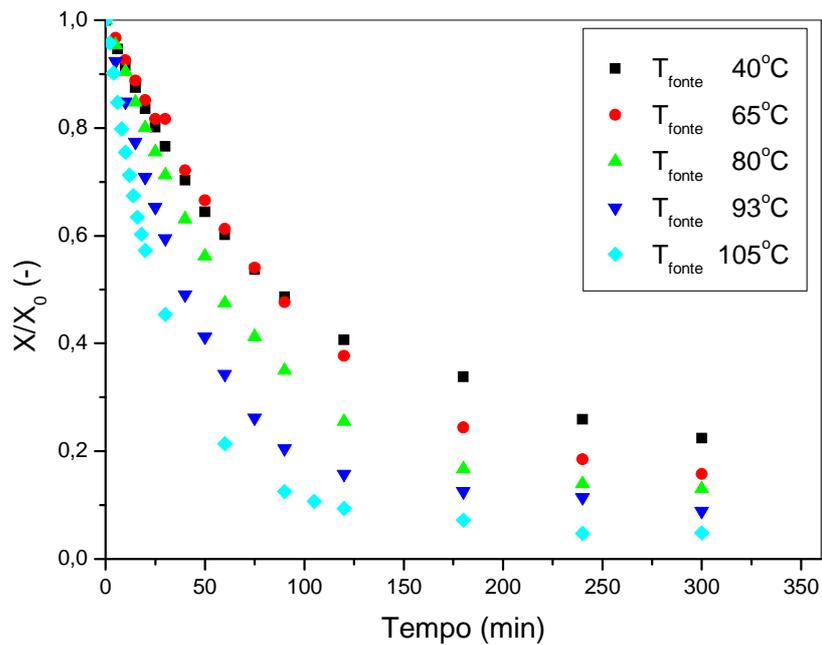


Figura 4. - Adimensional de umidade em função do tempo das sementes de girassol secas de forma contínua em diferentes temperaturas de radiação infravermelho.

Durante a secagem contínua, para se determinar a massa das amostras ao longo do tempo, o tempo médio de passagem das sementes não foi superior a 10 segundos. Podendo deste modo, o efeito de intermitência ser considerado não existente ou insignificante.

A Figura 4.8 mostra a taxa de secagem em função do teor de umidade em base seca., para sementes de girassol secas em modo de operação contínua.

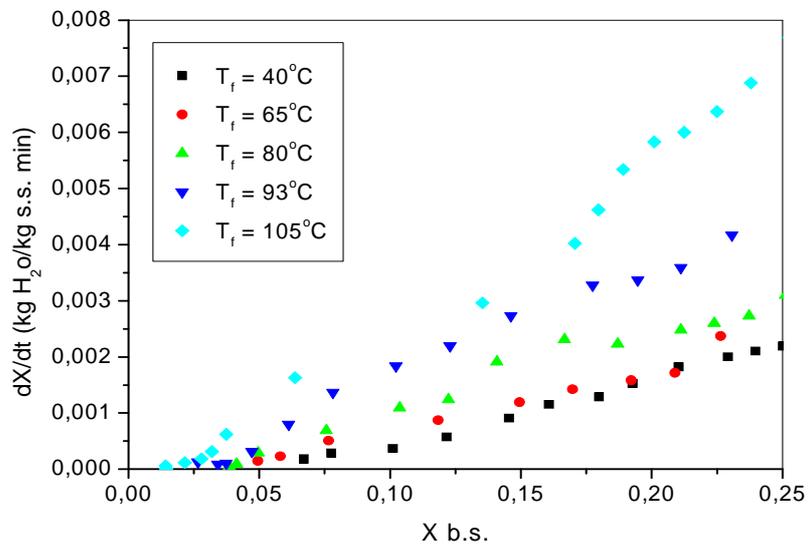


Figura 4. - Taxa de secagem em função do teor de umidade em base seca, para diferentes temperaturas de radiação em secagem contínua

4.3.2. Secagem Intermitente

Na Figura 4.7 observamos o aumento da temperatura ao longo do tempo. O tempo médio para que se obter cada valor de temperatura foi de aproximadamente 5 minutos, tempo que possibilitava uma estabilização da temperatura dentro do calorímetro, ou seja, tempo necessário para a umidade interna atingir a superfície. Justificando assim o efeito da intermitência provocada.

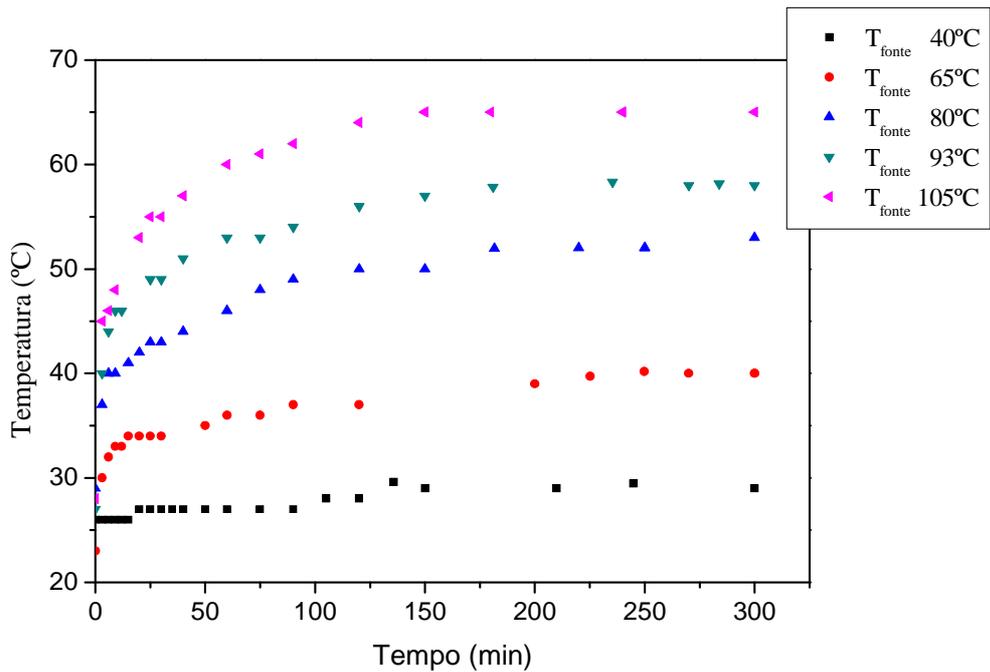
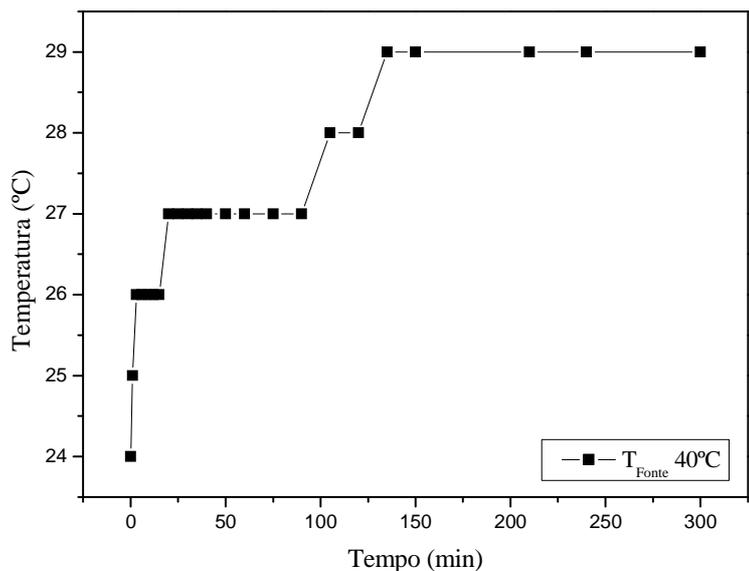


Figura 4. - Temperatura das sementes em função do tempo, em diferentes temperaturas da fonte de radiação infravermelho.

Os períodos de secagem (Figura 4.10) são bem caracterizados, com temperatura constante dos grãos (maior taxa de redução de umidade) e de temperatura crescente dos grãos (menor taxa de redução de umidade). (MOTA,1999; MARINI, 2007).



4. - Temperatura das sementes em função do tempo.

A secagem realizada com a fonte regulada a temperatura de 105 foi a que alcançou o teor de umidade final mais rapidamente em relação aos outros teores. Isto deve ter ocorrido devido a falta ao aumento da temperatura atingida pelo grão.

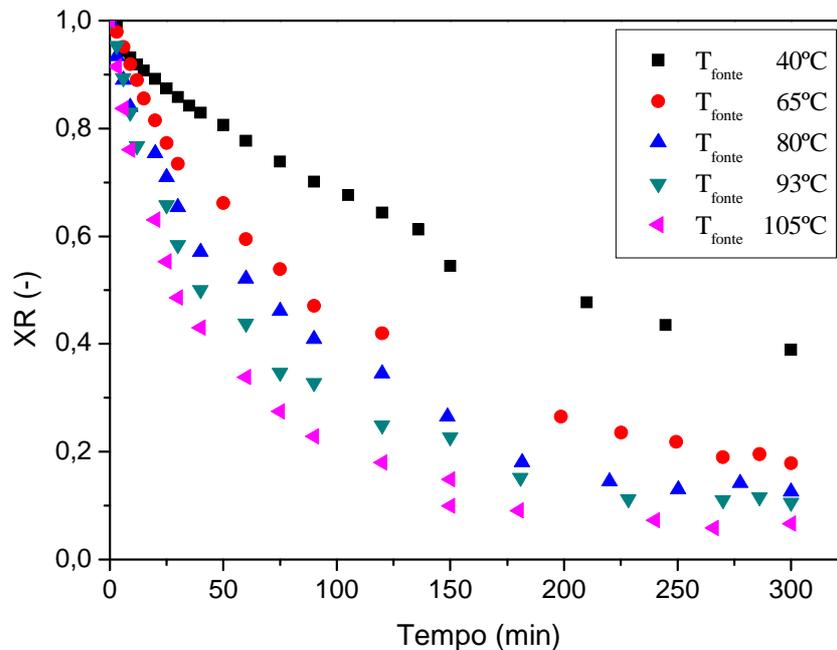


Figura 4. - Adimensional de umidade em função do tempo das sementes de girassol secas de forma intermitente em diferentes temperaturas de radiação infravermelho.

4.3.3. Comparação entre os tipos de secagem contínua e intermitente

Tanto o modo de secagem feito de forma contínua quanto o modo intermitente possuem uma taxa crescente de secagem. Figuras 4.12 e 4.13. As resistências internas á transferência de calor e massa também regem durante todo o processo de secagem das sementes. Resultados similares também foram constatados em diversos trabalhos na literatura (AHRENS & LOLLATO, 1995; MOTA,1999; MARINI, 2007)

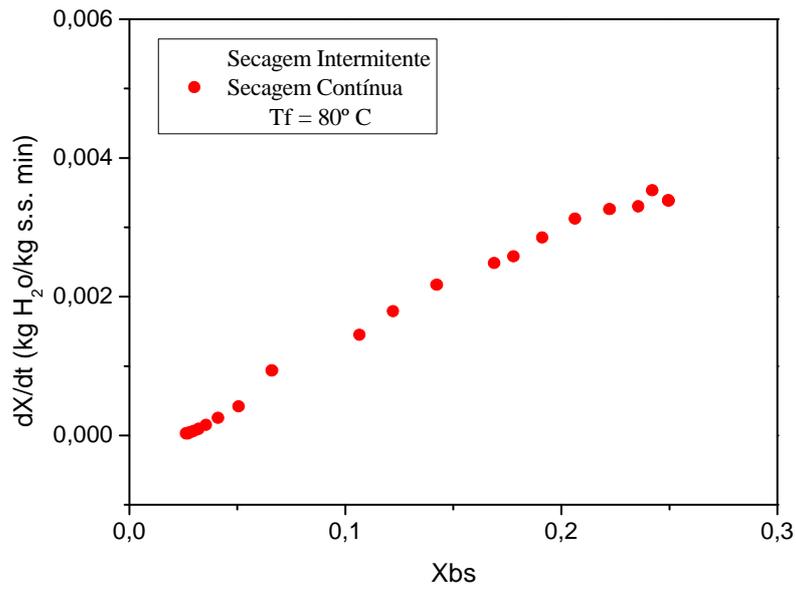
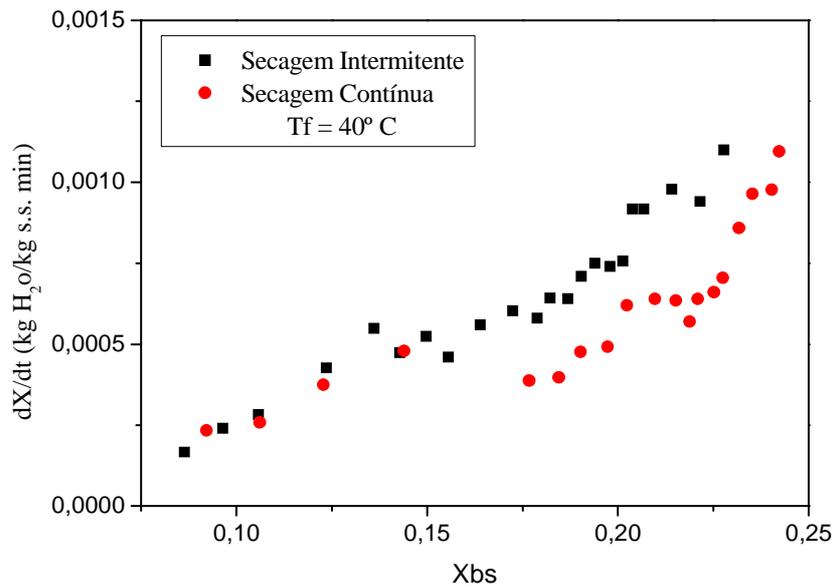


Figura 4. - Comparação entre os tipos de secagem contínua e intermitente, parametrizada em uma temperatura.



4. - Comparação entre os tipos de secagem contínua e intermitente, parametrizada em uma temperatura.

No início do processo, a velocidade de secagem é maior, ou seja, a perda de água por unidade de tempo é elevada, isso porque a semente está completamente úmida e a radiação é absorvida pela água localizada na periferia das do grão. A velocidade de deslocamento da água do interior do grão é maior na secagem intermitente semente busca o equilíbrio

hidroscópico no período no qual não está sob influência da radiação. Após o período inicial da secagem, a taxa de secagem diminui apesar da quantidade de energia que chega ao grão ser elevada em relação àquela que deixa o grão por transferência de massa, resultando em baixo rendimento. A duração do período de secagem foi determinada pelo tempo decorrido entre a umidade inicial e a final dos grãos, mostrando-se influenciada por no processo de secagem. A partir das Figuras 4.10 e 4.11, observamos que a taxa de secagem aumenta com o aumento da temperatura da fonte de radiação, como também este aumento provoca um aumento na temperatura do grão que justifica o aumento nas taxas de secagem independente do método adotado.

A Figura 4.11 mostra a taxa de secagem em função do teor de umidade em base seca.

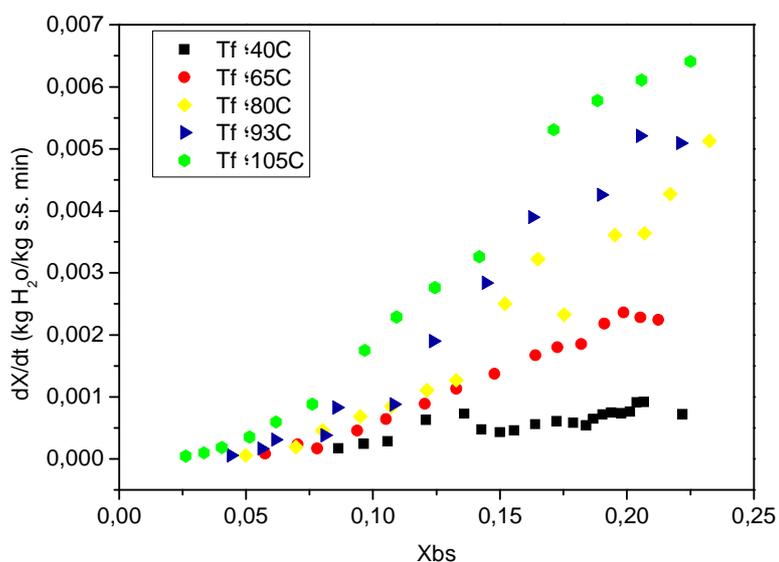


Figura 4. - Taxa de secagem em função do teor de umidade em base seca, para diferentes temperaturas de radiação em secagem intermitente

Tanto na secagem contínua como na intermitente o aumento da temperatura da fonte de radiação, resulta numa aceleração na remoção da umidade. Na secagem intermitente (Figura 4.9) é um pouco maior devido o período ao qual a semente não está sob efeito da radiação a água tende a se deslocar para as regiões periféricas da semente, facilitando assim a remoção de umidade quando retorna a sofrer a incidência da radiação.

4.4. Discriminação das equações de cinética de secagem

A análise empírica da cinética de secagem foi realizada para os experimentos, ajustando-se as curvas de secagem experimentais, através das Eq. (1) e (2), que correspondem aos modelos de difusão simplificado e de Page, respectivamente. Esses modelos foram escolhidos em virtude de descreverem de maneira satisfatória a secagem de grãos [Cavalcanti Mata, 1997].

Os dados experimentais foram estimadas em todos as temperaturas avaliadas (30, 45, 60, 93 e 105°C). Gráficos dos parâmetros (K e n) para equação de Page e (a e Def) para o modelo difusivo foram plotados para examinar a correlação deles com a temperatura.

Os resultados de estimação de parâmetros para os dados cinéticos de secagem infravermelho para secagem contínua e intermitente são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4. - Parametro da equação de Page e do Modelo Difusivo. Para secagem via radiação infravermelho de foram contínua e intermitente.

Modelo	Temperatura	Secagem Contínua			Secagem Intermitente			
		A	Def	R ²	a	Def	R ²	
Modelo difusivo	40	0,9847	0,0018	0,9979	0,9616	0,0023	0,9951	
		0,9729	0,0015	0,9986	0,9832	0,0019	0,9928	
	65	0,9954	0,0046	0,9972	0,9927	0,0052	0,9956	
		0,9542	0,0042	0,9934	0,9902	0,0057	0,9861	
	80	0,9811	0,0078	0,9913	0,9391	0,0088	0,9847	
		0,9947	0,0075	0,9935	0,9635	0,0081	0,9893	
	93	0,9942	0,0115	0,9915	0,9884	0,0141	0,9859	
		0,9709	0,0127	0,995	0,9953	0,0148	0,9881	
	105	0,9820	0,0153	0,9964	0,9884	0,0177	0,9859	
		0,9789	0,0150	0,9965	0,9899	0,0182	0,9802	
		Temperatura	K	n	R ²	k	n	R ²
	Equação de page	40	0,0042	0,9190	0,9955	0,0096	0,8073	0,9957
			0,0053	0,8431	0,9973	0,0092	0,8266	0,9976
		65	0,0167	0,8540	0,9923	0,0216	0,7935	0,9882
0,171			0,9472	0,9955	0,0232	0,8926	0,9934	
80		0,0253	0,8430	0,9889	0,0410	0,7393	0,99028	
		0,0246	0,8152	0,9836	0,0481	0,7706	0,9974	
93		0,0339	0,7840	0,9858	0,0383	0,8941	0,307762	
		0,0328	0,8683	0,9948	0,0387	0,7539	0,9868	
105		0,0346	0,9780	0,9868	0,0547	0,7894	0,9891	
		0,0377	0,8867	0,9955	0,0529	0,7946	0,9945	

Para visualização da dependência dos parâmetros das equações de difusão e de Page em relação à temperatura, estes foram estimados por regressão não linear e são plotados em função da temperatura nas Figuras 4.15 a 4.22.

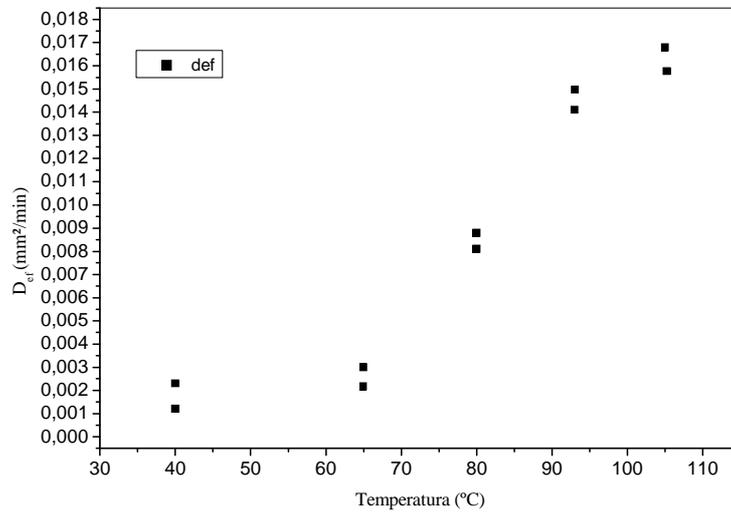


Figura 4. - Coeficiente de difusão efetiva em função da temperatura, para secagem Intermitente.

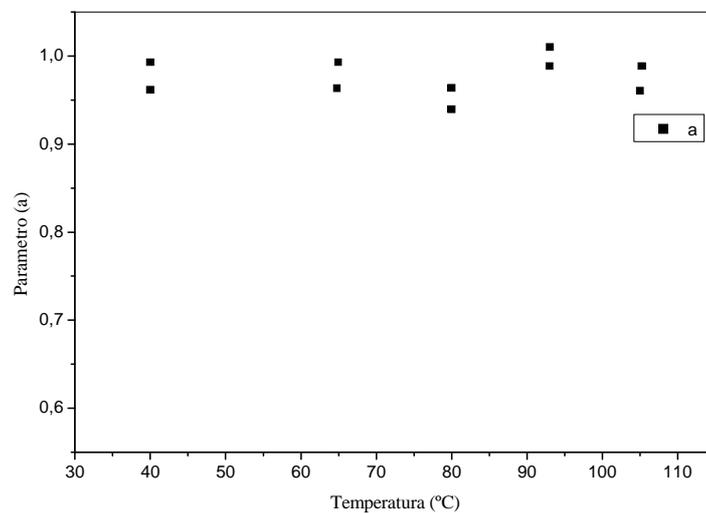


Figura 4. - Parâmetro a do modelo difusivo em função da temperatura, para a secagem intermitente.

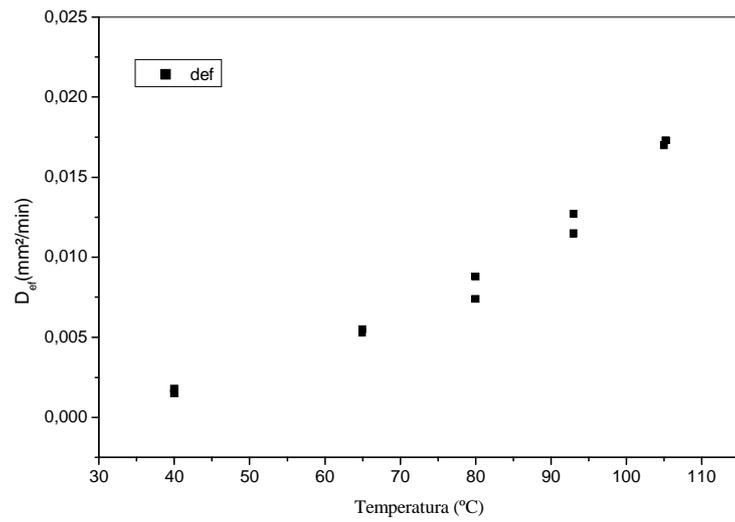


Figura 4. - Coeficiente de difusão efetiva em função da temperatura, para secagem Contínua.

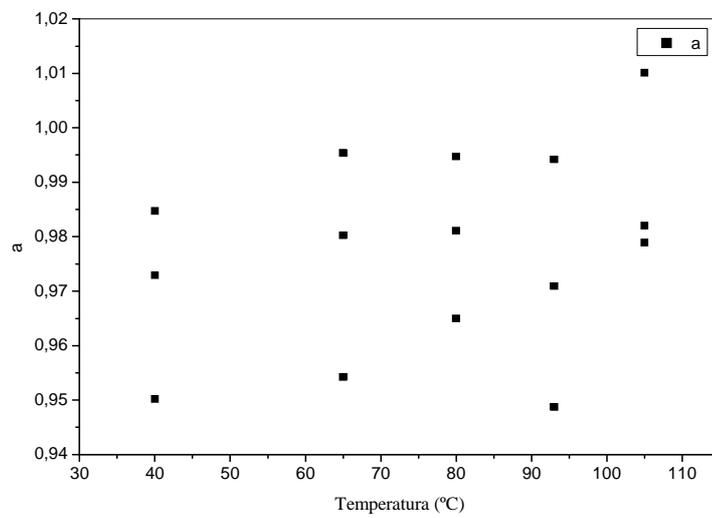


Figura 4. - Parâmetro a do modelo difusivo em função da temperatura, para a secagem contínua

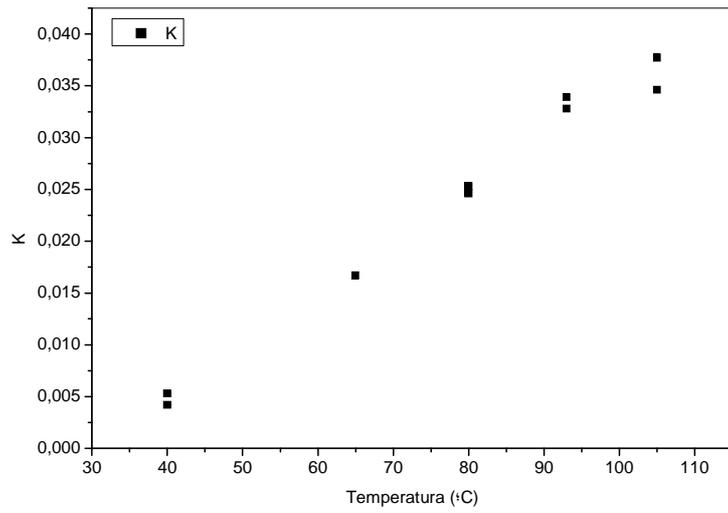


Figura 4. - Constante de secagem (k) em função da temperatura, para a secagem contínua.

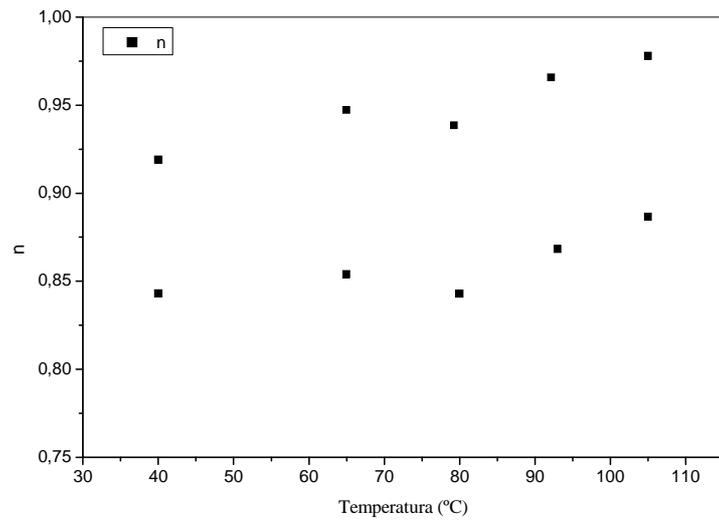


Figura 4. - Parâmetro n da equação de Page em função da temperatura, para a secagem Contínua.

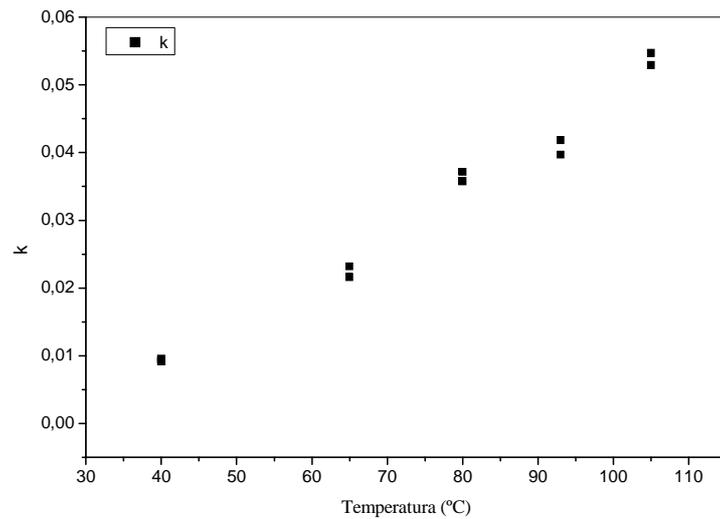


Figura 4. - Constante de secagem (k) em função da temperatura, para a secagem Intermitente.

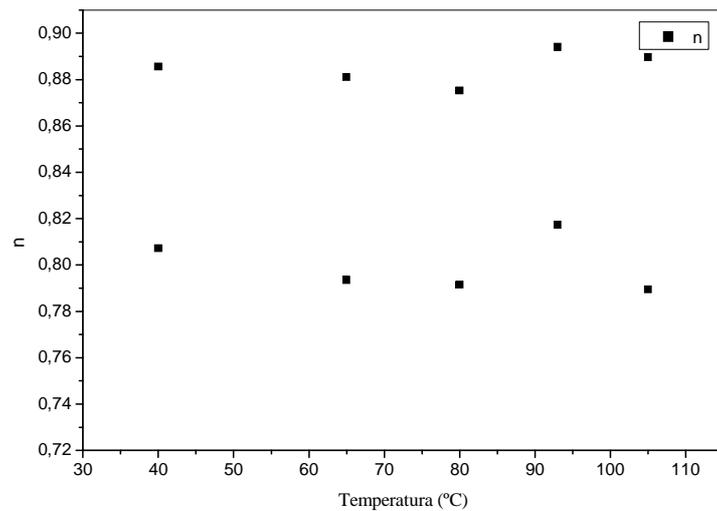


Figura 4. - Parâmetro n da equação de Page em função da temperatura, para a secagem Intermitente.

Diante das figuras do parâmetro a do modelo difusivo como o parâmetro n da equação de Page pode ser verificado que não existe nenhuma correlação entre os valores com temperatura. Entretanto, o coeficiente de difusão efetiva (D_{ef}) e a constante de secagem (k), para ambos os tipos de secagem, mostraram uma tendência de aumentar não - linearmente com o aumento da temperatura.

Assim, para uma análise de regressão não linear direta dos ajustes das equações aos dados experimentais, foram realizados levando em consideração a influência da temperatura sobre os parâmetros D_{ef} (coeficiente de difusão efetiva) e o k (constante de secagem), através de uma relação tipo Arrhenius, mantendo constantes os demais parâmetros.

A forma final das equações de difusão e de Page foram:

$$XR = a \cdot \exp \left[-D_0 \cdot \exp \left(-\frac{E_a}{R_g T_k} \right) \frac{t}{R^2} \right]$$

$$XR = \exp \left[-K_0 \cdot \exp \left(-\frac{E_a}{R_g T_k} \right) t^n \right]$$

onde D_0 e K_0 , são fatores pré-exponenciais da equação de Arrhenius, E_a é a energia de ativação, em kJ/mol, R_g é a constante dos gases, em kJ/kg mol e K e T_k é a temperatura absoluta.

Para início da regressão direta foram utilizados os valores médios dos parâmetros a e n estimados pelos métodos indiretos.

Os resultados da estimação não linear, como também os valores correspondentes dos critérios estatísticos, são apresentados na tabela 4.2 e 4.3.

Tabela 4. - Parâmetros estimados e critérios de qualidade de ajuste para a equação de Page.

Método	K_0 (min^{-1})	E_a (kJ/mol)	n	R^2	SEE	DVM
Secagem contínua	0,1957	86,3544	0,8542	0,76761535	0,6834	0,0370
Secagem intermitente	0,2298	95,4984	0,7635	0,68620482	0,3603	0,2669

Tabela 4. - Parâmetros estimados e critérios de qualidade de ajuste para a equação simplificada do modelo difusivo.

Método	D_0 (min^{-1})	E_a (kJ/mol)	a	R^2	SEE	DVM
Secagem contínua	$6,14 \times 10^{-5}$	31,468	0,9711	0,9822	0,1448	0,0860
Secagem intermitente	$2,90 \times 10^{-5}$	36,258	0,9602	0,9839	0,1677	0,0524

Nas Figuras 4.23 e 4.24 são apresentados as distribuições de resíduos para a equação de Page e nas Figuras 4.25 e 4.26 são apresentados as distribuições de resíduos para a solução simplificada do modelo difusivo, aplicadas a secagem infravermelho de forma contínua e intermitente. Nos gráficos podem ser verificados que a equação do modelo difusivo tende a subestimar os valores de XR no final do processo, resultando em desvio sempre positivos na região de baixo adimensional de umidade.

As equações utilizadas, tanto Page como a do modelo difusivo simplificado, pode ser utilizado para representar os dados cinéticos. Com base nas análises dos resíduos o modelo difusivo possui uma maior confiabilidade dos dados obtidos.

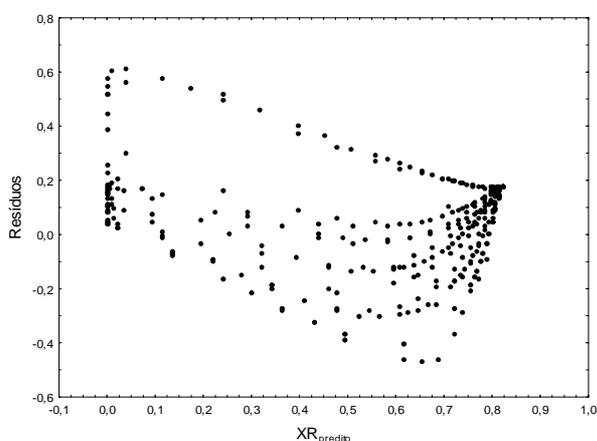


Figura 4. - Distribuição de resíduos em função dos valores de XR previstos pela equação de Page, para a secagem contínua.

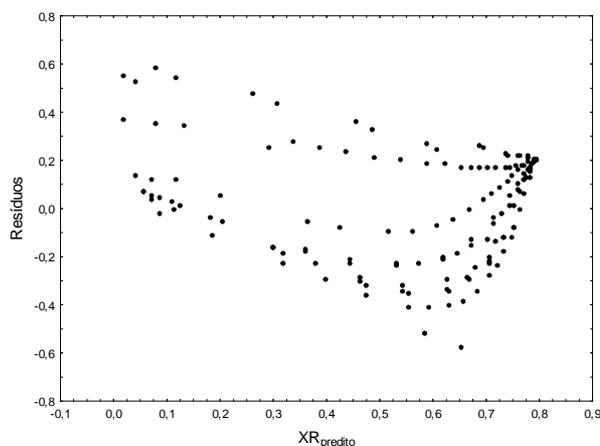


Figura 4. - Distribuição de resíduos em função dos valores de XR previstos pela equação de Page, para a secagem Intermitente.

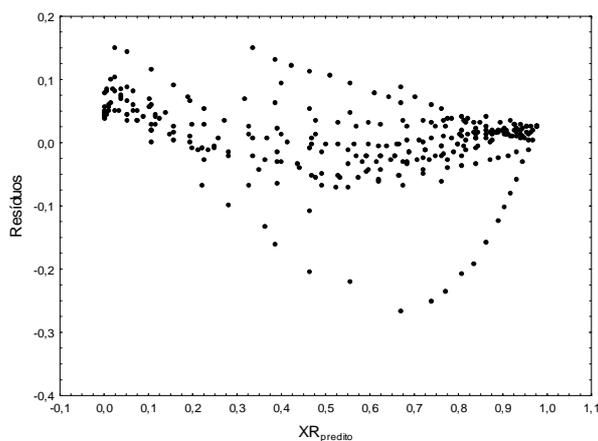


Figura 4. - Distribuição de resíduos em função dos valores de XR previstos pela equação simplificada do modelo difusivo, para a secagem contínua.

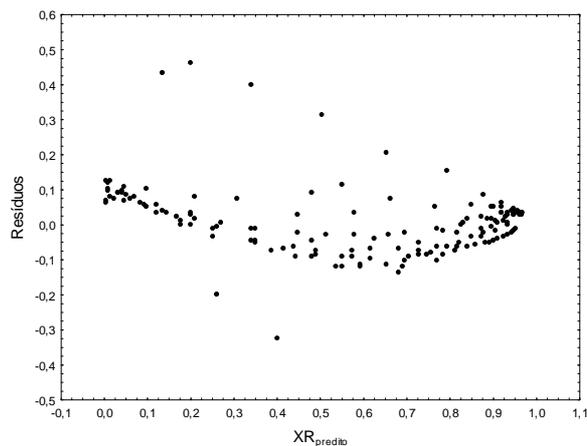


Figura 4. - Distribuição de resíduos em função dos valores de XR previstos pela equação simplificada do modelo difusivo, para a secagem Intermitente.

Efetuada uma análise quantitativa dos resultados apresentados na Tabela 4.2 e 4.3, verifica-se que a equação simplificada do modelo difusivo obteve maiores valores para R^2 e os menores de SEE, a qual portanto deve ser considerada a mais precisa para descrever a cinética de secagem das sementes de girassol via radiação infra-vermelha.

Na Figura 4.25 pode ser verificada a precisão do modelo difusivo simplificado em relação aos pontos experimentais.

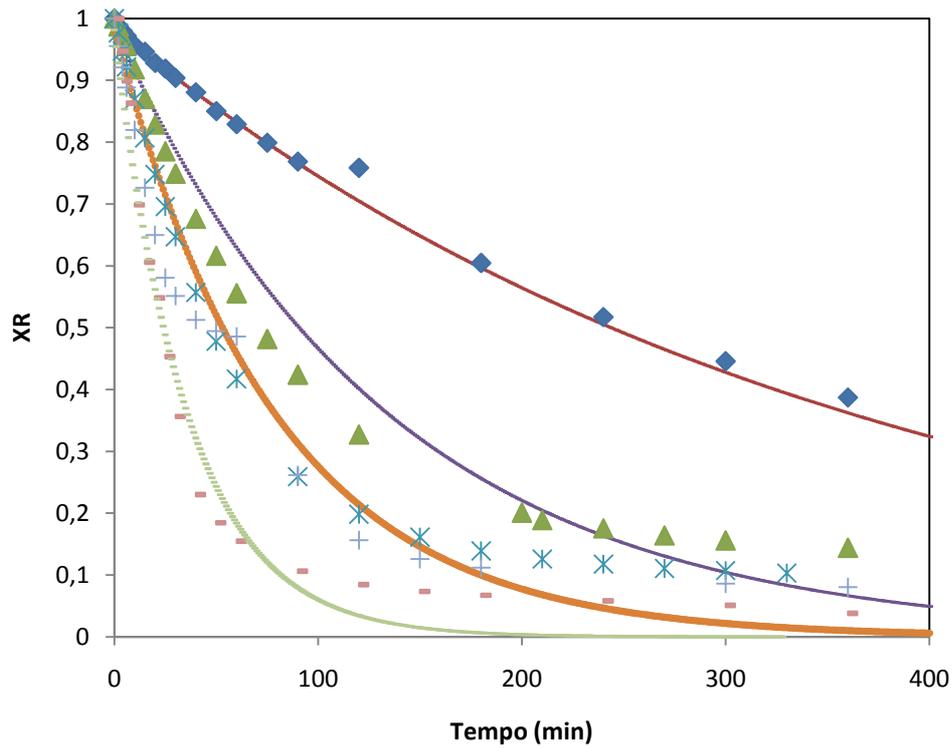


Figura 4. - Adimensional de umidade em função do tempo para a secagem contínua.

Nas Figuras 4.26 e 4.27 pode ser verificada também a concordância entre os dados experimentais e as superfícies de resposta construídas utilizando o modelo difusivo simplificado, cujos parâmetros encontram-se listados nas Tabelas 2 e 3.

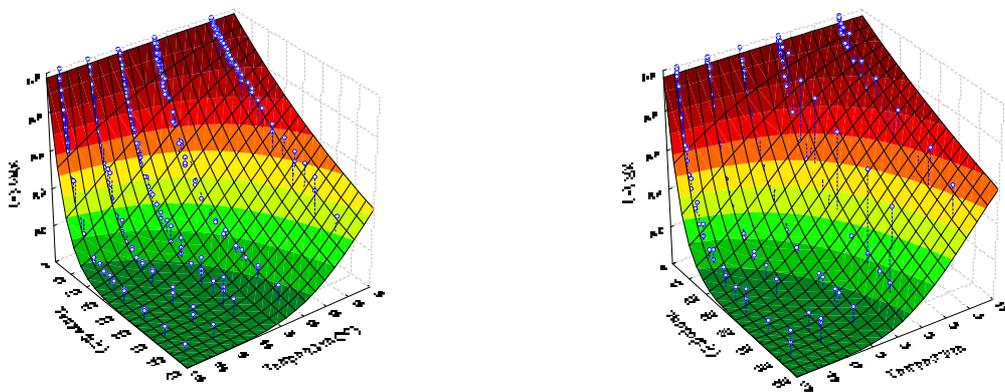


Figura 4. - Superfície de resposta para o teor de umidade das sementes de girassol, durante a secagem infravermelho de forma contínua.

Figura 4. - Superfície de resposta para o teor de umidade das sementes de girassol, durante a secagem infravermelho de forma intermitente.

4.5. Atividade de água

Na Figura 4.30, são apresentados os valores médios da atividade de água em função dos teores de umidade, durante o processo de secagem das sementes, em condições controladas de temperatura ambiente.

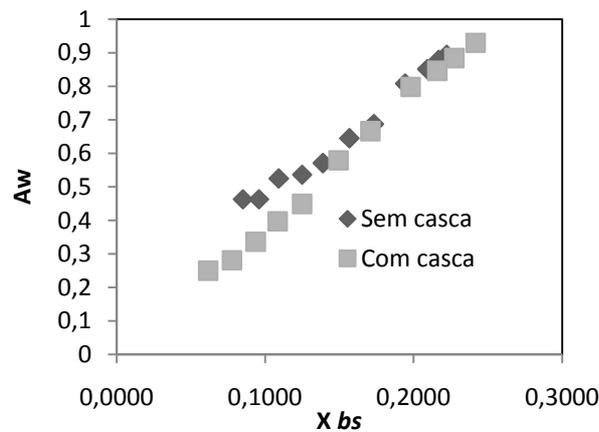


Figura 4. - Atividade de água em função do teor de umidade - Temperatura ambiente.

Verifica-se, pelos resultados apresentados, de modo geral, a tendência de redução do teor umidade das sementes com o prolongamento do período de secagem para a temperatura investigada. Essas alterações ocorreram devido, principalmente, às mudanças da umidade relativa do ar ambiente e, conseqüentemente, da atividade de água, ocorridas durante o período de secagem.

No entanto (Figura 4.31), nota-se que os teores de umidade das sementes de girassol, a partir dos 180 minutos já apresentaram valores de atividade de água sempre inferiores a 0,5 e também um teor de umidade abaixo dos 9 % b.s., o que, conforme a literatura especializada, representa um limite para o armazenamento seguro das sementes de girassol.

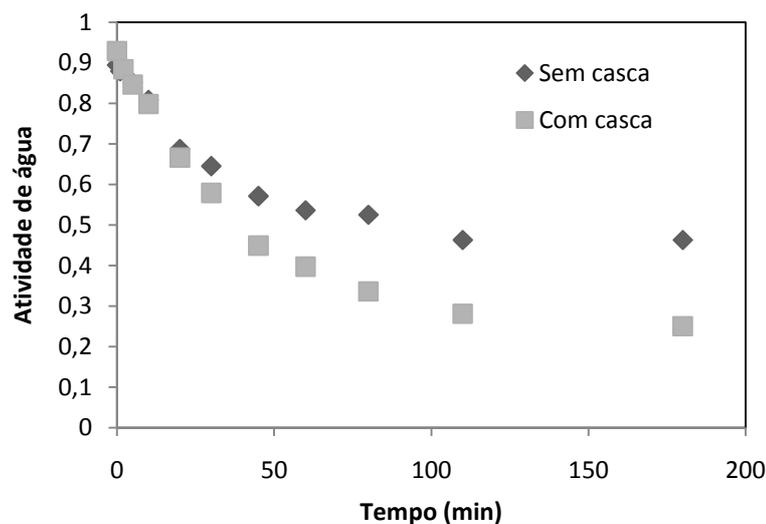


Figura 4. - Atividade de água em função do tempo.

A partir dos pontos amostrais das umidades de equilíbrio determinadas para as sementes com e sem casca secas na temperatura da fonte de radiação regulada a 45°C, foram obtidas as curvas experimentais de umidade de equilíbrio das sementes. Na Tabela 4.4, têm-se os valores dos parâmetros estimados, obtidos por regressão não linear, da Equação de GAB, para o ajuste das isotermas das sementes de girassol com e sem tegumento, para temperatura estudada, assim como os coeficientes de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e DVM.

Tabela 4.- Parâmetros estimados para a equação de GAB.

	Equação de GAB					
	Mm	Cg	K	R ²	SEE	DVM
Sem casca	0,0776	1406x10 ³	0,7480	0,9384	0,0020	0,0233
Com casca	0,0828	2480x10 ³	0,7301	0,9535	0,0041	0,0469

O comportamento das isotermas das amostras com e sem casca na temperatura trabalhada foi o esperado, até atividades de água de aproximadamente 0,7, faixa na qual as umidades de equilíbrio diminuíram. No entanto, acima dessa atividade de água, houve uma inversão das curvas. As umidades de equilíbrio passaram a ser maiores nas em teores de umidade mais elevados.

As curvas das sementes com tegumento seguiram o mesmo padrão das sementes descascadas.

4.6. Atributos de qualidade

4.6.1. Qualidade Fisiológica das sementes

A qualidade das sementes é influenciada pela variedade e pelo meio ambiente durante o desenvolvimento, como também pelas condições de colheita e armazenamento. A exposição das sementes a período de alta umidade após a maturação pode causar danos fisiológicos ou reduzir a sua qualidade.

Desde modo, os efeitos de reumidificação e da secagem via radiação infravermelha nas sementes, foram avaliados através do teste de germinação.

Sementes reumidificadas apresentam um percentual de germinação em torno de 75%. A Figura 4.30 mostra o desempenho da germinação das sementes após serem submetidas ao tratamento térmico.

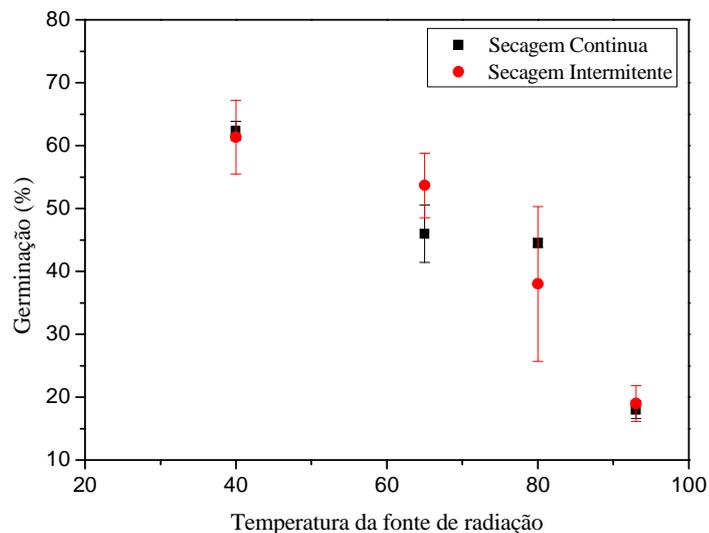


Figura 4. - Percentual de germinação das sementes parametrizadas nas diferentes temperaturas de secagem.

Conforme mostra a Figura 4.30, o método de secagem contínua e intermitente transmitem resultados próximos, o que indica que o método não influencia nos resultados finais.

Os resultados mostram que as sementes de girassol são tolerantes a temperatura de secagem, quando estas não ultrapassam os 40°C. Resultados semelhantes foram obtidos por Alvarenga Neto et al. (2003) em *Acacia polyphylla* DC.. Em duas espécies de *Albizia*, temperaturas de 20° e 25oC proporcionaram maiores porcentagens e velocidade de germinação (TIGABU & ODEM, 2001)

Por outro lado, sob temperaturas mais altas, a velocidade de absorção de água e as atividades enzimáticas tornam-se baixas, ocorrendo baixo índice de germinação das sementes (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). Entretanto, podem ser prejudiciais à germinação de algumas espécies, provavelmente por causarem desnaturação de proteínas essenciais ao processo germinativo.

Segundo ANDRADE et al. (2002), sementes de *Pouteria campechiana* (Kunth) Baehni submetidas a uma faixa térmica entre 15 e 40°C, apresentavam maiores percentuais de germinação a temperaturas superiores a 30°C.

4.6.2. Composição físico-química das sementes

Nas tabelas 4.5 e 4.6 são apresentados os teores médios de proteínas, lipídeos, fibras, cinzas e carboidratos das sementes de girassol antes e após serem submetidas a secagem via radiação infravermelho em diferentes temperaturas.

Tabela 4. - Composição nutricional das sementes de girassol com tegumento antes do processo de secagem.

Composição nutricional em base seca - X_{bs} (%)					
X_{bs}	Proteínas	Lipídeos	Fibras	Cinzas	Carboidratos
22,59	20,62	47,63	7,00	4,30	20,45

Tabela 4. - Composição nutricional das sementes de girassol com tegumento após do processo de secagem infravermelho em diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Composição nutricional em base seca (%)					
	X_{bs}	Proteínas	Lipídeos	Fibras	Cinzas	Carboidratos
40	6,92	19,43	45,97	6,30	3,96	24,34
65	7,16	18,85	45,32	5,47	4,08	26,28
80	7,66	19,62	43,88	5,02	3,45	28,03
93	6,45	19,07	43,35	4,58	4,05	28,95

Através da análise das Tabelas 4.5 e 4.6, pode-se observar que depois do processo de secagem das sementes de girassol sem tegumento, as porcentagens de proteínas e cinzas mantiveram-se sem alteração com relação a seus teores iniciais, já o percentual de Fibras teve seu valor alterado acentuadamente, comparando com os dados de SANTOS (2009) que determinou a composição centesimal das sementes de girassol com tegumento. Esta alteração ocorreu devido à remoção do tegumento, já que a semente de girassol é rica em fibras e sua maior concentração se encontra no tegumento.

A variação de teor de lipídeos foi pequena com o aumento da temperatura de secagem, sendo verificado a de cerca de 4% (Tabela 4.5 e 4.6). A degradação ocorreu durante a secagem das sementes por processos bioquímicos, como a respiração ou por processos de oxidação que resulta na diminuição dos lipídeos, ou seja, ocorre hidrólise de lipídeos. A oxidação de ácidos graxos devido a tratamentos térmicos e a redução da qualidade de óleos vegetais extraídos de sementes têm sido relatadas na literatura (FU & LIEN, 1998; SACILIK, 2007). Os resultados são similares aos observados por SANTOS (2009) em que a hidrólise de lipídeos sofreu variação de 1%.

Tabela 4. - Composição nutricional das sementes de girassol com tegumento após do processo de secagem infravermelho em diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Composição nutricional em base seca (%)				
	Proteínas	Lipídeos	Fibras	Cinzas	Carboidratos
40	29,3	46,3	15,9	3,84	8,22
65	26,9	45,4	16,6	3,79	9,70
93	29,4	44,4	16,5	3,92	5,74

FONTE: SANTOS (2009)

Os resultados mostram que temperaturas na faixa entre 40 e 65°C, não existe diferença significativa na composição química das sementes secas. Resultados similares foram obtidos por SANTOS (2009) (Tabela 4.7) que avaliou a influência da secagem via radiação infravermelha de sementes de girassol com casca.

Na faixa de temperatura de 30 a 50°C, não há diferenças significativas na composição química aproximada das sementes secas tanto para sementes com e sem tegumento. Os resultados estão de semelhantes ao da literatura (SANTOS, 2009; BANKOLE *et al.*, 2005).

4.6.3. Atividade enzimática nas sementes de girassol

4.6.3.1. Atividade lipásica das sementes

O potencial de produção de triacilgliceróis da semente de girassol sem casca antes e após a secagem foi verificada a partir da dosagem da atividade enzimática na hidrólise de triaglicerois, conforme descrito no item 3.6.1.1. Com relação à atividade lipásica da semente de girassol in natura e secas nas diferentes temperaturas, em diferentes concentrações (0,5 a 3,0g), foi observado variações significativas após os tratamentos térmicos (Figura 4.33).

Na figura 4.33 foi notado o dano causado a atividade da enzima lípase devido ao aumento da temperatura. As sementes secas in natura apresentaram atividade residual relativa entre 48 e 100%, variando de acordo com o carregamento de enzima oferecida na reação (0,5 a 3,0g).

Segundo CAMACHO e colaboradores (2004), a causa primária do dano produzido por altas temperaturas em tecidos vegetais é a desintegração das membranas celulares, possivelmente, por alterações nos lipídeos que as constituem. Também é aceita a teoria de que a temperatura excessivamente alta pode provocar, entre outras alterações, a desnaturação de proteínas.

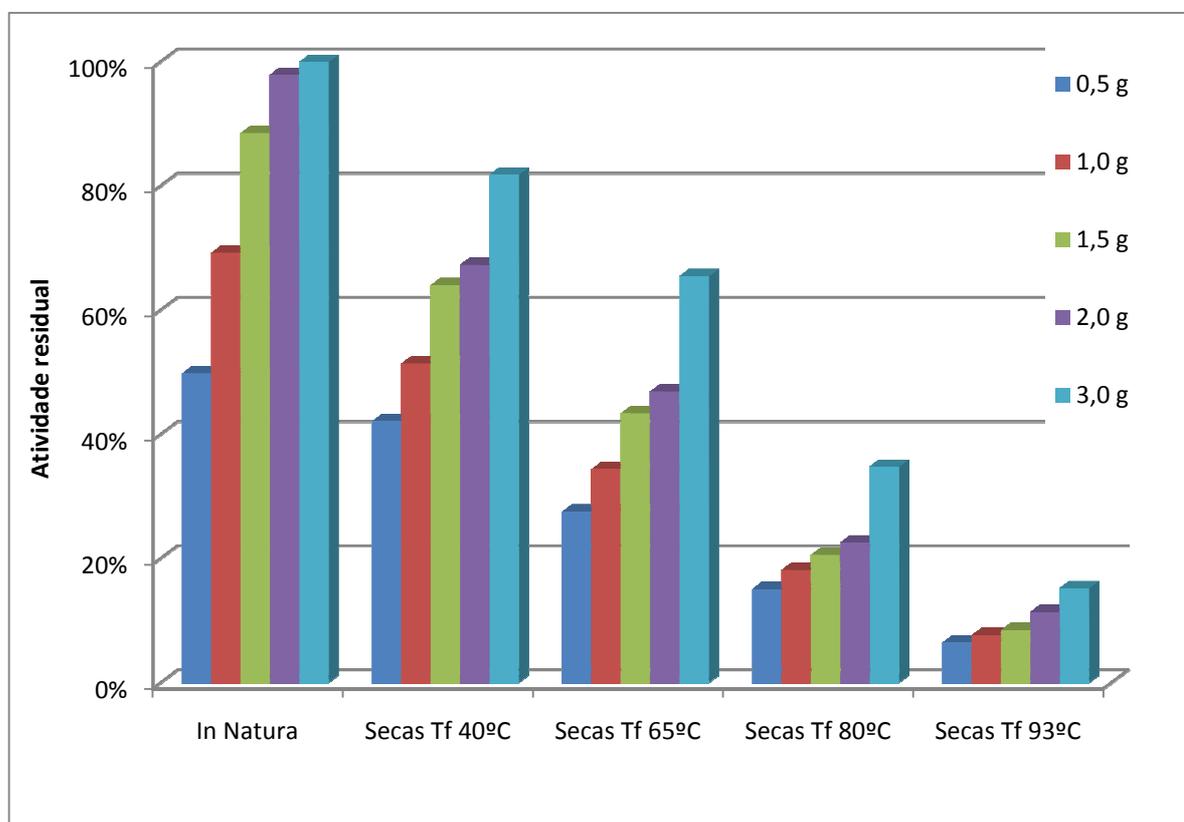


Figura 4.- Perfil da atividade lipásica das sementes antes e após tratamento térmico - 15 minutos.

Na Figura 4.33 foi notada o dano causado a atividade da enzima lípase devido ao aumento da temperatura. As sementes secas in natura apresentaram atividade residual relativa entre 48% e 100%, variando de acordo com o carregamento de enzima oferecida na reação (0,5 a 3,0g).

Segundo CAMACHO e colaboradores, a causa primária do dano produzido por altas temperaturas em tecidos vegetais é a desintegração das membranas celulares, possivelmente, por alterações nos lipídeos que as constituem. Também é aceita a teoria de que a temperatura excessiva alta pode provocar, entre outras alterações, a desnaturação de proteínas.

Resultados similares foram obtidos por MARINI (2007), onde foi observado que com o aumento da temperatura de secagem ocorreu diminuição da atividade residual de lípase, mostrando que a intensidade de calor utilizada nos experimentos de secagem intermitente afetou a viabilidade enzimática, apesar de a temperatura máxima da massa de grãos durante a secagem não ter ultrapassado 50°C. Neste estudo ainda foi observado que a temperatura de secagem a 40°C apresentaram as maiores atividades enzimáticas e possivelmente maior potencial de ésteres.

4.6.3.2. Atividade peroxidase das sementes.

Em estudos sobre a tolerância a diferentes métodos de secagem de sementes, foi concluído que o aumento do nível de hidroperóxidos pode estar associado ao declínio da viabilidade das sementes e que a peroxidação das sementes pode promover sua desidratação (ROSA *et AL*, 2001). Com base nesta avaliação da atividade biológica, os autores observaram o decréscimo da atividade da peroxidase, causada possivelmente pela intensificação da peroxidação de lipídeos associados ao processo de secagem, consoante com o perfil observado neste estudo (Figura 4.34).

De uma maneira geral, os resultados do perfil da atividade residual da enzima peroxidase antes e após o tratamento térmico, apresentam um decréscimo na ordem de 80% entre a semente de girassol in natura e as sementes secas até a temperatura de radiação de 105°C.

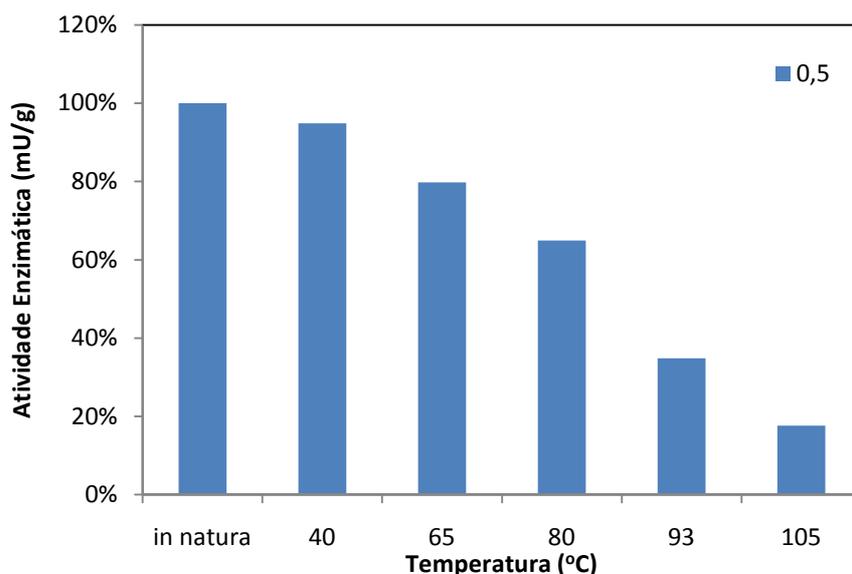


Figura 4.- Perfil da atividade peroxidase das sementes antes e após tratamento térmico - 15 minutos.

Observa-se que embora as temperaturas médias da fonte de radiação não tenham ultrapassado os 40°C nos experimentos estudados, a atividade máxima atingida está próxima da atingida pelo grãos na forma in natura, cerca de 95% da atividade residual (figura 4.31).

Após o tratamento térmico, nas temperaturas acima de 80°C observou-se um acentuado decréscimo da atividade da peroxidase quando comparada à atividade das sementes in natura. As diferenças de resistência a temperatura entre a dosagem da atividade da lipase e da peroxidase é possível devido a presença de isoenzimas que apresentam maior termo estabilidade. A resistência das isoenzimas de peroxidase foi também observado por BERBICZ & CLEMENTE (2001).

Durante o tratamento térmico dos extratos enzimáticos, foi observado um decréscimo quase que contínuo da atividade de POD (peroxidase) e PPO (polifenoloxidase) em todas as temperaturas, tendo, porém, um maior decréscimo nos primeiros minutos. Os resultados encontrados são semelhantes aos observados por VALDERRAMA & CLEMENTE (2005) em seus estudos com goiaba.

Os tratamentos térmicos aplicados neste trabalho não foram capazes de inativar totalmente estas enzimas, estando de acordo com ALVIM & CLEMENTE (1998), que atribuem às isoenzimas termoestáveis as possíveis causas pela dificuldade na inativação completa das enzimas estudadas.

A peroxidase é uma enzima termoestável, por isso as temperaturas utilizadas não reduziram sua atividade de forma a inativá-la. Os valores encontrados estão de acordo com

WEBER *et al* (2002), que avaliando o efeito do tempo e da temperatura de imersão não observaram redução na atividade de peroxidase em relação à sementes de feijão quando a temperatura foi de 50°C

Anteriormente, neste trabalho foi observada a germinação após o tratamento térmico (item 4.3.1), onde foi observada a maior taxa de germinação utilizando sementes secas a 40°C. Portanto, houve uma relação positiva entre as atividades enzimáticas avaliadas neste item (lípase e peroxidase) e a germinação. Na temperatura de 40°C foram observadas as maiores atividades enzimáticas após o tratamento térmico. O estresse oxidativo, portanto deve ter afetado com maior intensidade a qualidade da semente no processo de secagem utilizando temperaturas acima de 40°C, afetando assim a capacidade de germinação.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Diante dos objetivos propostos e com base nos resultados obtidos neste trabalho sobre a secagem de sementes de girassol sem casca via radiação infravermelho, tem-se para as condições operacionais utilizadas, as seguintes conclusões descritas a seguir.

A caracterização física do material permitiu o conhecimento das propriedades das sementes do girassol Cultivar Embrapa V2000, cujas informações sobre o material descascados são escassas na literatura. O conhecimento das dimensões e da forma do material é de fundamental importância para adequar projetos de equipamentos, envolvidos nas etapas de beneficiamento destas sementes, como descascamento, secagem, extração do óleo extraído, etc.

A Metodologia experimental empregada mostrou-se de acordo para as análises das cinéticas de secagem da sementes descascadas em camada fina, de modo que as resistências internas, associadas a estrutura da semente, governam o fenômeno de transferência de massa.

O modelo difusivo simplificado descreveu satisfatoriamente o comportamento da secagem das sementes descascadas nos períodos de taxas decrescente, com os valores estimados para o coeficiente de difusão fornecendo informações úteis para a comparação da forma de secagem. A equação de GAB representou bem os valores da atividade de água em função do teor de umidade, mostrando o teor de umidade ideal para que a semente tenha baixa atividade de água, favorecendo assim o armazenamento.

Os resultados obtidos para a germinação das sêmenes de girassol sem casca secas por secador infravermelho indicam que na faixa de 30 a 40°C, pode ser aplicado para preservar o poder de recomposição fisiológica das sementes, de fundamental importância para fins de propagação da cultura.

A atividade da lipase em sementes de girassol sem tegumento aumentou com o carregamento. O aumento da temperatura e do tempo influenciou a atividade das enzimas, embora não tenham sido suficientes para a inativação total da lipase e da peroxidase.

A melhor temperatura de secagem das sementes de girassol sem tegumento foi de 40°C.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC- American Association of Cereal Chemists. **Approved methods**. 9 ed., Saint Paul, 1995.

ALVIM, K.; CLEMENTE, E. **Estudo da termoestabilidade de peroxidase extraídas da polpa e casca de mexerica (*Citrus deliciosa*)**. *Acta Scientiarum*, v. 2, n. 3, p. 201-204, 1998.
AGOSTINI, Juliana da Silva and IDA, Elza Iouko. **Caracterização parcial e utilização da fitase extraída de sementes germinadas de girassol**. *Pesq. agropec. bras.* [online]. 2006, v. 41, n. 6, pp. 1041-1047.

AGUIRRE, R.; PESKE, S.T. **Manual para el beneficio de semillas**. 2.ed. Cáli, 248p.Colômbia : CIAT. 1992.

ANVISA. MINISTÉRIO DA SAÚDE. On line. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/alimentos/programa/index.htm>>. Acesso em Fevereiro de 2008.

BAUDET, L.M.L.; VILLELA, F.A.; CAVARIANI, C. **Princípios de secagem**. Seed News, Pelotas-RS, n.10, p.20-27,1999.

BINDSCHEDLER, L.F.; BLEE, K.A.; BUTT, V.S.; DAVIES, D.R.; GARDNER, S.L.; GERRISH, C.; MINIBAYEVA, F. **The apoplastic oxidative burst in response to biotic stress in plants: a three-component system**. *Journal of Experimental Botany*, v.53, p.1357-1376, 2002.

BANKOLE, S. A.; OSHO, A.; JODA, A. O.; ENIKUOMEHIN, O. A. **Effect of drying method on the quality and storability of “egusi” melon seeds (*Colocynthis citrullus* L.)**. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 4 (8), p. 799-803, 2005.

BRADNOCK, W. T. Report of vigour committee. 1971 – 1974. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.3, n. 1, pp. 124-7, 1975.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992.

BROOKER, Donald B. BAKKER-ARKEMA, Fred W. **Rying an Storege of grains and Oilseeds**. Avi Book, 1992.

BENNET, C. O., MYERS, J. E. **Fenômenos de Transporte, Quantidade de Calor e Massa**, McGraw-Hill do Brasil LTDA, 1978.

CAMPOS, Ângela Diniz et al. **Atividade de peroxidase e polifenoxidase na resistência do feijão à antracnose**. *Pesq. agropec. bras.* [online]. 2004, vol.39, n.7, pp. 637-643. ISSN 0100-204X.

CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; ARAGÃO, R.F.; SANTANA, E.F.; SILVA, F.A.S. Estudo da morfologia geométrica em grãos. **Revista Nordestina de Armazenagem**, Campina Grande, v.3, n.1, p. 3-30, 1986.

CARVALHO, N.M. **A secagem de sementes**. Jaboticabal 165p: FUNEP, 1994.

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

CASTRO, R.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M. **Desenvolvimento de sementes e conteúdo de água**. In: BORGHETTI, F.; FERREIRA, A.G. Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.51-67.

CAVASIN, P. **A cultura do girassol**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 69 p.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar**. 85f. Tese de Doutorado - Esalq-USP. 1996

CELESTINO, S. M. C. **Transferência de Calor e Massa em Leito Deslizante e escoamentos Concorrentes: Secagem de Sementes de Soja**, Universidade Federal de Uberlândia, 1998.

COUTO, S.M.; MAGALHÃES, A.C.; QUEIROZ, D.M.; BASTOS, I.T. **Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, n.1, p.61-68, 1999.

CHEN, H. Vierling, R.A. **Molecular Cloning and Characterization of Soybean Peroxidase Gene Families**. Plant Science, V. 150. P. 129-137,2000.

DEGAN, Patrícia, AGUIAR, Ivor B. de, SADER, Rubens. **Influência de métodos de secagem na conservação de sementes de Ipê-branco**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Sept./Dec. 2001, vol.5, no.3, p.492-496.

DURAN, N. ESPOSITO, E. **Potential Applications of Oxidative Enzymes and Phenoloxidases-like Compounds in Water and Soil Treatment**; V.28,p.83-89,2000.

ELIAS, M.C. **Secagem e armazenamento de grãos, em média e pequena escala** 1.ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2000.147p.

EASTMOND, P. J. **Cloning and caracterização of the acid lipase from castor beans**. *J. Biol. Chem.*, v. 279, n. 44, p. 45540-45545, 2004.

FASINA O. O. ; TYLER R. T. ; PICKARD M. D. **Modelling The Infrared Radiative Heating Of Agricultural Crops** . *Drying technology*, vol. 16, n^o9-10, p. 2065-2082 ,1998.

FERNANDEZ, S.A.V.; TANNURI, U.; DOMIGUES, G.; UEHARA, D.Y.; CARRAZZA, F.R. Efeito de dietas ricas em fibras sobre ratos em crescimento: estudo experimental. **Pediatria**, São Paulo, v.24, n.2, p.32-37, 2002.

FREITAS, Raquel Alves de; DIAS, Denise Cunha Fernandes dos Santos, SANTOS, Luiz Antônio dos, OLIVEIRA Maria Goreti De Almeida. **Testes fisiológicos e bioquímicos na estimativa do potencial de armazenamento de sementes de algodão.** *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 26 , 2004, p.84-91.

FIGUEIRA, Camila Emilia & MURATA, Valeria Viana. **Modelagem, simulação e otimização da secagem de sementes de soja em secador de leito deslizante com escoamento concorrente do ar e dos grãos.** 2007

FU, W. R.; LIEN, W. R. Optimization of far infrared heat dehydration of shrimp using RMS. *Journal of Food Science*, 63(1), p. 80-83, 1998

FULLBROOK, P. D. **The use of enzymes in the Processing Oilseeds.** *Journal of AOCS*, v. 60, n. 2, 1983, p. 476-478,.

GASPAR, T.H.; PENEL, C.L.; THORPE, T.; GREPPIN, H. **Peroxidasas: a survey of their biochemical and physiological roles in higher plants.** Genève: Université de Genève, 324p. 1982.

GOMES, Delineide Pereira et al. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de girassol produzidas na região de Timon, Maranhão.** *Summa phytopathol.* [online]. 2006, vol. 32, no. 3, pp. 291-292.

JOSE, Solange Carvalho Barrios Roveri; VON PINHO, Édila Vilela de Resende; VON PINHO, Renzo Garcia e SILVEIRA, César Martoreli da. **Padrões eletroforéticos da enzima α -amilase em sementes de milho submetidas a alta temperatura de secagem.** *Rev. bras. sementes* [online]. 2004, vol. 26, no. 1, p. 77-83.

KAO, C.H. **Differential effect of sorbitol and polyethylene glycol on antioxidant enzymes in rice leaves.** *Plant Growth Regulation*, v.39, p.83-89, 2003.

LACERDA, André Luiz de Souza; LAZARINI, Edson; SA, Marco Eustáquio de e VALERIO FILHO, Walter Veriano. **Armazenamento de sementes de soja dessecadas e avaliação da qualidade fisiológica, bioquímica e sanitária.** *Rev. bras. sementes* [online]. 2003, v. 25, n. 2, pp. 97-105.

LUZ, C.A.S.; PESKE, S.T. **Secagem de arroz em secador intermitente lento.** *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v.10, n.2, p.103-114,1988.

EICHELBERGER, LUIZ; MAIA, MANOEL DE SOUZA. **Composição química de sementes de azevem em resposta ao retardamento de sacagem e ao armazenamento.** *Pesq. Agrope. Brasileira*, Brasília, v.37, n.5, p. 693-701, maio 2002.

MAEDA, Jocely Andreuccetti; RAZERA, Luiz Fernandes and UNGARO, Maria Regina Gonçalves. **Sementes de girassol: observações preliminares sobre o teste de envelhecimento rápido.** *Bragantia* [online]. 1985, v. 44, n. 1, p. 417-420.

MAIA, M.S; **Secagem de Sementes de azevem anual (*Lolium multiflorum Lam*) com ar ambiente forçado.** 108f. Tese de Doutorado. Faculdade de agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 1995.

MARINI, L. J.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. & MEZZOMO, N. **Efeito da Secagem Intermitente na Estabilidade de Grãos de Aveia** Braz. J. Food Technol., v.8, n.3, p. 260-267, jul./set. 2005

MASSARANI, G., VALENÇA, G. C. **Avaliação de Secadores em Fluxos Concorrentes e Contracorrentes.** *Anais do ENEMP*, Vol I, p. 225-230, Uberlândia, 1996.

MARINI, LEONOR JOÃO. **Efeito da temperatura de secagem e relação de intermitência na inativação enzimática e viscosidade de pasta de aveia.** R. Bras. Agrociência, Pelotas, v.13, n.1, p.55-60, jan-mar, 2007

MELLO, Renius and NORNBORG, José Laerte. **Fracionamento dos carboidratos e proteínas de silagens de milho, sorgo e girassol.** *Cienc. Rural* [online]. 2004, v. 34, n. 5, pp. 1537-1542. ISSN 0103-8478.

MENEZES, Sabrina Mecca de; TILLMANN, Maria Ângela Andre; DODE, Luciana Bicca and VILLELA, Francisco Amaral. **Deteção de soja geneticamente modificada tolerante ao glifosato por métodos baseados na atividade de enzimas.** *Rev. bras. sementes* [online]. 2004, v. 26, n. 2, pp. 150-155.

MENTEN, JOSÉ OTÁVIO M. **Diagnóstico da patologia de sementes de girassol no Brasil.** *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 7, no 1, p. 25-30, 1985

MEESO, N., NATHAKARANAKULE, A., MADHIYANON, T. AND SOPONRONNARIT, S. **Influence of FIR irradiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying.** *Journal of Food Engineering*. 65, 317-321. 2006

MITCHELL, D.A.; Berovic, M.; Krieger, N. Biochemical engineering aspects of solid state bioprocessing. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, v. 68, p. 61-138, 2001.

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

MOSS, M.D. Mode of formation of ochratoxin A **Food Additives and Contaminants** 13, supplement 10, 5-9, 1996.

MOTTA, W. A.; VILLELA, F. A & ZIMMER, G. J. **Adaptação do método contínuo de secagem para sementes de arroz.** *Scientia Agrícola*, v. 56, n. 4. p. 1019-1025, out/dez, 1999.

NAKAGAWA, J. **Teste de vigor baseados no desempenho das plântulas.** In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes.** Londrina. ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

PARK, Antonio Oliveira e PARK. **conceitos de processo e equipamentos de secagem,** Campinas, Março de 2007.

PESKE, S.T. ; BARROS, A.C.S.A. **Produção de sementes de arroz irrigado**. Pelotas : UFPel. 1997. p. 351-412.

PIGHINELLI, Anna L. M. T.; PARK, Kil J.; RAUEN, Ana M. and OLIVEIRA, Rafael A. de. **Otimização da prensagem de grãos de girassol e sua caracterização**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2009, v. 13, n. 1, p. 63-67.

PORTAS, A. A. **O girassol na alimentação animal**. Campinas: CATI/D SM, POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: Editora Pax, 1985. 289 p.

PUNTARULO Susana, RODOLFO A. Sánchez, e Alberto Boveris. **Hydrogen Peroxide Metabolism in Soybean Embryonic Axes at the Onset of Germination** *Plant Physiol.* 86: 626-630.

QUEIROZ, Valéria Aparecida Vieira et al.. **Desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção de goiaba**. *Pesq. agropec. bras.* [online]. 2007, v. 42, n. 10

ROSA, Sttela Dellyzete Veiga Franco da et al. **Enzimas removedoras de radicais livres e proteínas lea associadas à tolerância de sementes milho à alta temperatura de secagem**. *Rev. bras. sementes* [online]., vol. 27, no. 2, p. 91-101. 2006

ROSSI,R.O.**GIRASSOL**. 1º Ed. Curitiba:Ed. Tecnoagro. P. 333,1998.

RUPOLLO, Galileu; GUTKOSKI, Luiz Carlos; MARINI, Leonor João e ELIAS, Moacir Cardoso. **Sistemas de armazenamentos hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia**. *Cienc. Rural* [online]. 2004, vol.34, n.6, pp. 1715-1722. ISSN 0103-8478.

SANDU C.. **Infrared radiative drying in food engineering: a process analysis**. *Biotechnology Progress* 2(3): 109-119. 1986

SANTOS, C. J.R. dos, **Secagem de sementes de girassol via radiação infravermelho e convecção forçada de ar aquecido** Dissertação de Mestrado, Universidade Tiradentes. Aracaju/SE/, 2009.

SANTOS Renata Dinnies,; FERRARI, Roseli Aparecida. **Extração aquosa enzimática de óleo de soja**. *Ciênc. Tecnol. zliment.* vol.25 no.1 Campinas Jan./Mar. 2005

SHIMOSAKAI, T.L. **Contribuição à Modelagem da Secagem em Leito Deslizante Concorrente**. Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

SILVA, Mirian de L. O. e et al. **Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2007, v. 11, n. 5, pp. 482-488.

SILVA, M. M., et.al. **DEMANDA ENERGÉTICA ENVOLVIDA NO PROCESSO DE DESSORÇÃO DE UMIDADE EM POLPA DE MANGA**. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.4, n.2, p.107-117, 2002

SCUSSEL, V.M. **Fungos em grãos armazenados**. Campinas: IBG, 2002. p.675-804.

- STAUBMANN, R., NCUBE, I., GÜBITZ, G. M., STEINER, W., READ, J.S. **Esterase and lipase activity in *Jatropha curcas* L. seeds.** J. Biotechnol., v. 75, p. 117-126, 1999.
- TILLMANN, M.A.A; CICERO, S.M. **Comparison between THE oven and THE Karl Fischer methodS for THE determination of the moisture content of maize (*Zea mays* L.) and soya (*Glycine max* (L) Merrill) seeds.** Sci. agric., Piracicaba, v. 53, n. 1, Jan. 1996
REVISTA DE BIOLOGIA E CIÊNCIAS DA TERRA, **Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó.** Volume 7- Número 1 - 1º Semestre 2007.
- UNGARO, M. R. G. O Girassol no Brasil. **O Agrônômico**, Campinas, v. 34, jan.–dez. 1982. p. 43-62.
- VALDERRAMA, P.; CLEMENTE, E. **Isolation and thermostability of peroxidase isoenzymes from apple cultivares Gala and Fuji.** Food Chemistry, v. 87, p. 601-606, 2004
- VALENTINI, Sílvia Regina de T.; CASTRO, Maria F.P. Moretzsohn de; ALMEIDA, Fernanda H. de. **Determinação do teor de umidade de milho utilizando aparelho de microondas.** *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 18, n. 2, May 1998 .
- VASCONCELOS, LUCYMARA MARTINS, GROTH, DORIS e RAZERA, LUIS FERNANDES. **Efeito de processos de secagem, diferentes graus de umidade,** Revista Brasileira de Sementes, vol. 14, no 2, p. 181-188, 1992
- VECCHIA, Andréia Dalla and CASTILHOS-FORTES, Raquel de. **Contaminação fúngica em granola comercial.** *Ciênc. Tecnol. Aliment.* [online]. 2007, v. 27,
- VILLELA, F.A. **Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho.** 104f. Tese de Doutorado - Esalq-USP. 1991.
- VILLELA, F.A ; PESKE, S.T. Tecnologia pós-colheita para arroz. In: PESKE, S.T.; NEDEL, J.L.; BARROS, A.C.S.A. **Produção de arroz irrigado.** Pelotas : UFPel, p. 351-412. 1997.
- VILLELA, F.A ; SILVA, W.R. **Curvas de secagem de sementes de milho utilizando o método intermitente.** Scientia Agricola, Piracicaba, v.49, n.1, p.145-153,1992.
- KRZYZANOWSKI, F. ed. **Vigor de sementes: Conceitos e Testes.** Londrina: ABRATES, 1999.
- WOODSTOCK, L. W. **Seedling growth as a measure of seed vigor.** *Proceedings of the Internacional Seed Testing Association*, Lincoln, v. 34, p. 273-80, 1969.
- YOKOMIZO, E. O combustível do girassol. **Revista CREA**, Curitiba, n. 21, p. 18-23, fev./mar. 2003.
- ZERAIK, Ana Eliza; SOUZA, Fernanda Sant'Ana de; FATIBELLO-FILHO, Orlando and LEITE, Oldair D.. **Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação.** *Quím. Nova* . 2008, vol.31, n.4, pp. 731-734.

CAPÍTULO 7

ANEXOS

Anexo 1

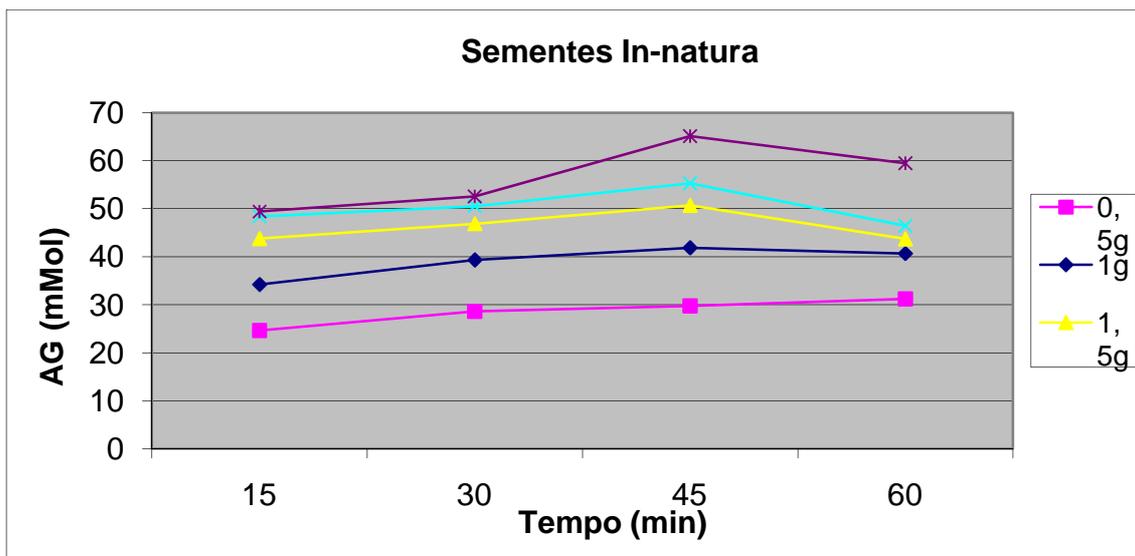


Figura 7. - Tempo de dosagem da atividade enzimática da lipase nos grãos de girassol secos a temperatura de 93°C

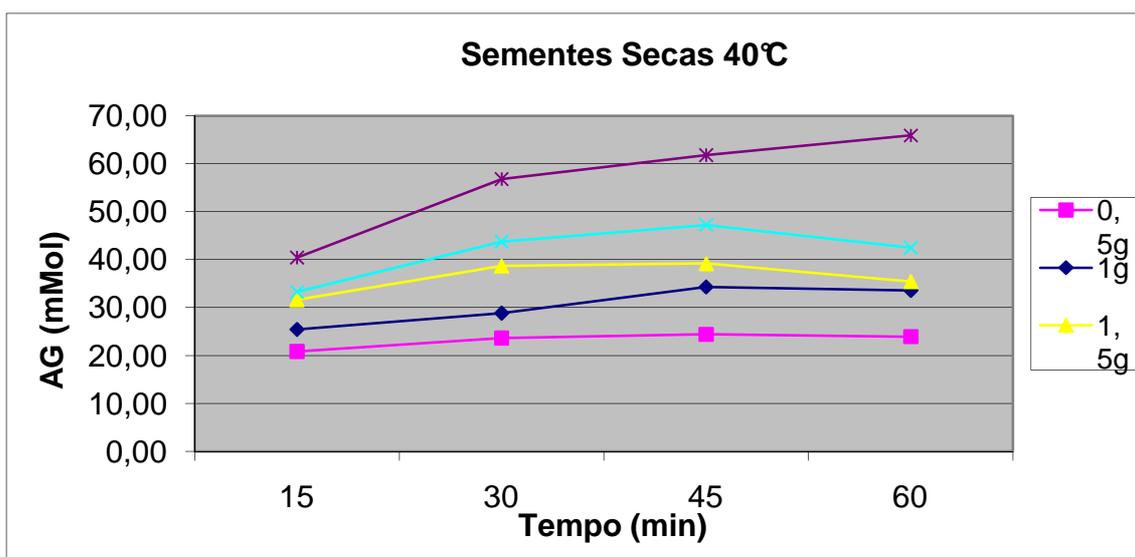


Figura 7. - Tempo de dosagem da atividade enzimática da lipase nos grãos de girassol secos a temperatura de 40°C.

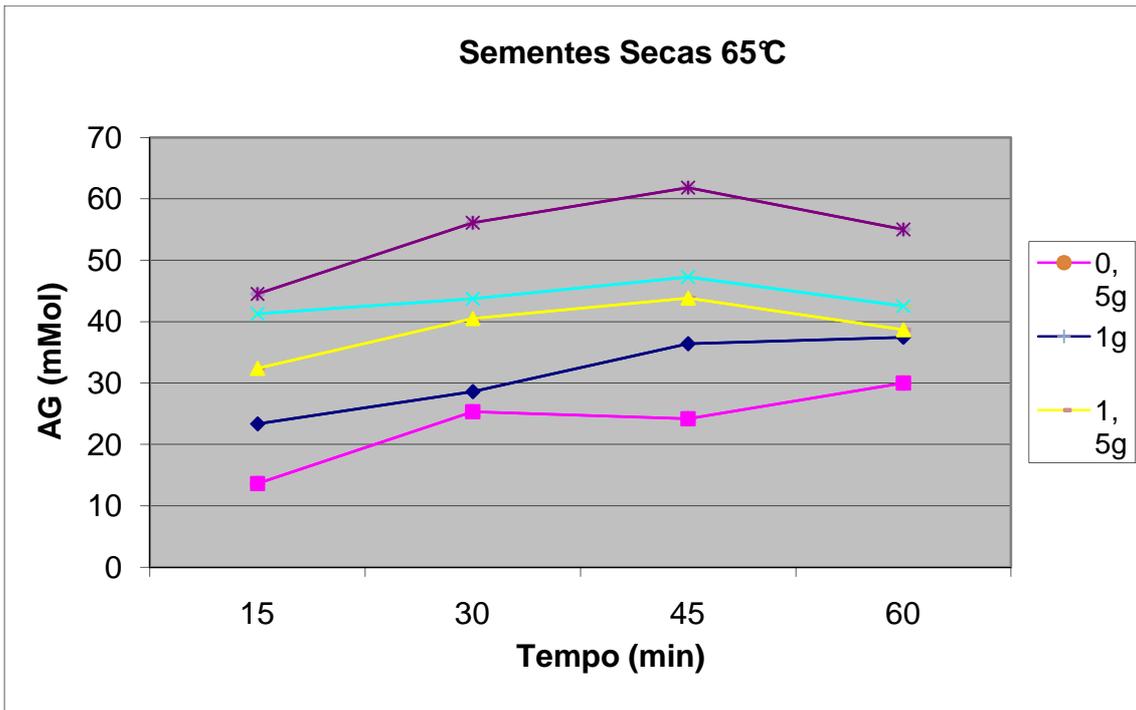


Figura 7. - Tempo de dosagem da atividade enzimática da lipase nos grãos de girassol secos a temperatura de 65°C.

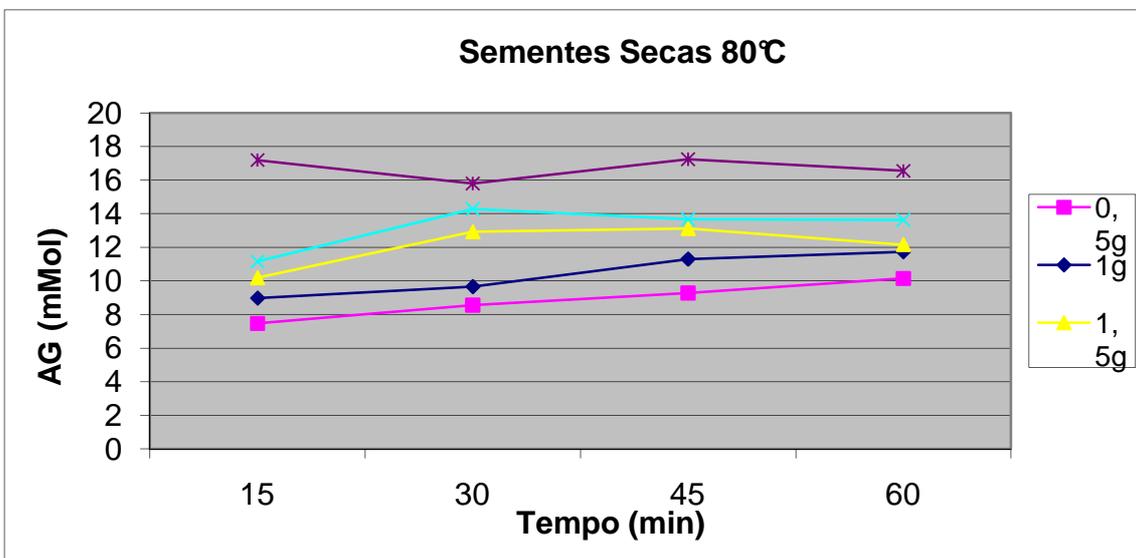


Figura 7. - Tempo de dosagem da atividade enzimática da lipase nos grãos de girassol secos a temperatura de 80°C.

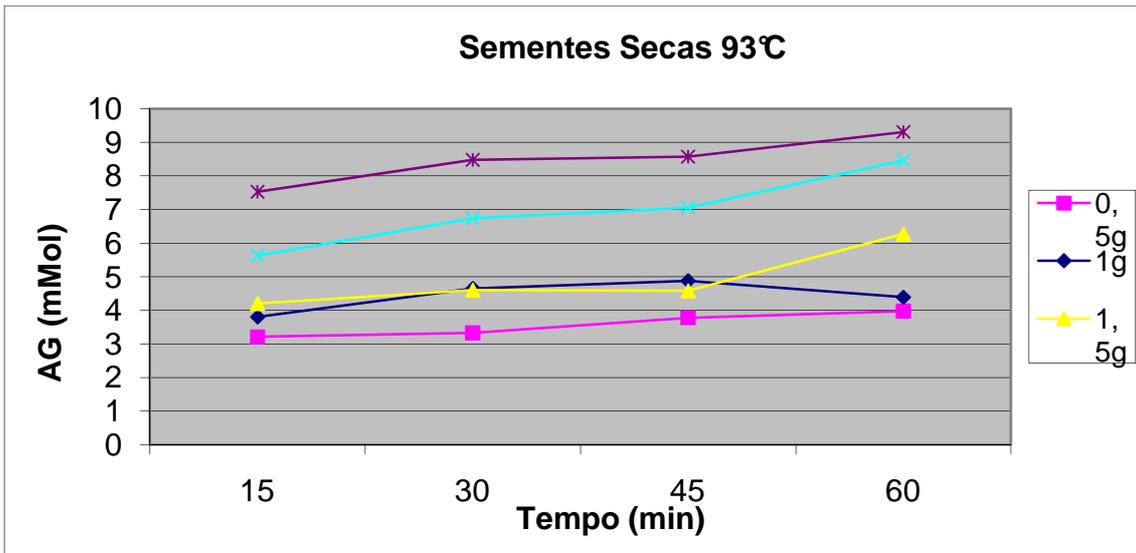


Figura 7. - Tempo de dosagem da atividade enzimática da lipase nos grãos de girassol secos a temperatura de 93°C.

Anexo 2

Lista de divulgação dos resultados

Esta dissertação de mestrado foi realizada ao longo de 24 meses de estudo, durante os quais publicou-se os resultados congresso regional e nacional, como a seguir listadas:

- Resumos simples em anais de eventos

1) COSTA, DIEGO MELO; PRADO, MANOEL M. DO; SOARES, C. M.; SILVA, DANIEL PEREIRA DA; **EFEITO DA REMOÇÃO DO TEGUMENTO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE SECAGEM INFRAVERMELHO DE SEMENTES DE GIRASSOL**. Universidade Tiradentes - Instituto de Tecnologia e Pesquisa. Aracaju-SE, 2009.

2) COSTA, DIEGO MELO; PRADO, MANOEL M. DO; SOARES, C. M.; SILVA, DANIEL PEREIRA DA; **SECAGEM DE SEMENTES DE GIRASSOL VIA RADIAÇÃO INFRAVERMELHO: INFLUÊNCIA DA REMOÇÃO DO TEGUMENTO SOBRE O FENÔMENO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA E ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO PRODUTO** Apresentações de pôsteres XXXIV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados – ENEMP 2009. Faculdade de Engenharia Química (FEQ) –UNICAMP, 2009