



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Anderson Melchíades Vasconcelos da Silva

**DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE
SECAGEM SOLAR PARA OLEAGINOSAS USADAS NA
PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

Campina Grande / Paraíba

2012

Anderson Melchiades Vasconcelos da Silva

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE
SECAGEM SOLAR PARA OLEAGINOSAS USADAS NA
PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Este trabalho corresponde à dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo

CAMPINA GRANDE / PB



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

S586d Silva, Anderson Melchiades Vasconcelos da.
Desenvolvimento experimental de um sistema de secagem solar para oleaginosas usadas na produção de biodiesel/Anderson Melchiades Vasconcelos da Silva. – Campina Grande, 2012.
126f.: il.col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo.
Referências.

1. Secador Solar. 2. Mamona. 3. Biodiesel. I. Título.

CDU 621.472(043)

Anderson Melchiades Vasconcelos da Silva

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE
SECAGEM SOLAR PARA OLEAGINOSAS USADAS NA
PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Dissertação aprovada em 27/08/2012 pela banca examinadora
constituída dos seguintes membros

Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo

Orientador

UFCG/CCT/PPGEM/UAEM

Prof. Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima

Membro interno

UFCG/PPGEM/CCT/UAEM

Profª. Dra. Vera Solange de Oliveira Farias

Membro externo

UFCG/CES

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza

Membro externo

UFRN/CT/DEM

DEDICATÓRIA

À minha família

Dedico a Deus pela sua infinita bondade e pela família maravilhosa que tenho, em especial, meus pais José Adilson e Gilvanda, que sempre estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Meus irmãos, Agton e Agson, e minha esposa, Amanda Raquel, pelo incentivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que Ele me oferece e a Nossa Senhora da Conceição, por graças alcançadas durante minha vida.

A minha família, pelo apoio incondicional durante a execução desse trabalho.

Ao Professor Dr. Marcelo Bezerra Grilo, pela amizade, confiança e dedicação nesses 2 anos de trabalho em equipe.

Ao Professor Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima, pelas palavras sinceras, apoio moral e exemplo de profissionalismo.

Ao PPGEM-UFMG, pela oportunidade de realizar esse trabalho.

Ao PRH-42, pelo fomento à pesquisa.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento (projeto, construção e testes) de um secador solar usado para secagem do fruto da mamoneira, popularmente conhecido como mamona. Atualmente, no Brasil, a oleaginosa mais utilizada para fabricação de biodiesel é a soja, enquanto na região Nordeste, a mais utilizada é a mamona (*Ricinus communis L.*). O processo tradicional de extração do óleo do fruto para futura transformação em biodiesel é iniciado com a pré-limpeza, em seguida, vai para um cozinhador a uma temperatura de até 80°C. Nesse processo, o fruto perde umidade, tem sua viscosidade reduzida e facilita a prensagem. Ainda é comum uma secagem natural prévia, feita ao ar livre nos terreiros das fazendas, onde os frutos ficam sujeitos a ação de animais e das intempéries (chuva, vento, umidade noturna, poeira, dentre outras). Esse sistema de secagem não atende às condições de higiene e limpeza, recomendadas pelos padrões nacionais e internacionais. A função do sistema de secagem solar em desenvolvimento é retirar a umidade presente na mamona, reduzindo a utilização do cozinhador e aumentando a eficiência na produção do óleo. No trabalho são apresentadas as características construtivas e de funcionamento do secador solar e as curvas de secagem da mamona, obtidas experimentalmente, tanto na secagem usando o secador solar, quanto na secagem em terreiro. Foram realizados vários testes experimentais, sendo apresentados e analisados os resultados de quatro destes testes. É possível afirmar que o processo de secagem utilizando o secador solar apresenta uma eficiência média de 23,1% maior comparativamente com a secagem no terreiro; e que a média da temperatura do ar obtida no interior do secador solar é 76% maior do que a média da temperatura ambiente.

Palavras-chave: Secador solar, Mamona, Biodiesel.

ABSTRACT

This paper presents the development (design, construction and testing) of a solar dryer used for drying the fruit of castor beans, popularly known as castor. Currently in Brazil the most used oilseed to produce biodiesel is soybean, while in the Northeast, the most used is the castor bean (*Ricinus communis L.*). The traditional process of extracting oil from fruit for further processing into biodiesel starts with the pre-cleaning, and then goes to a cooker machine at a temperature up to 80 °C. In this process, the fruit loses humidity, its viscosity is reduced and facilitates pressing. It is still common a prior natural drying done outdoors in the yards of the farms, where the fruits are subjected to the action of animals and the weathertight (rain, wind, night humidity, dust, among others). This drying system does not meet hygiene and cleanliness recommended by national and international standards. The function of the solar drying system under development is to remove the humidity present in castor oil, reducing the use of the cooker machine and increasing efficiency in the production of the oil. On the paper are presented the constructions and operating characteristics of the solar dryer and the drying curves from castor obtained experimentally, both in drying using solar dryer as the drying yard. Have been conducted several experimental tests, being presented and analyzed the results from four of these tests. It is possible to state that the drying process using the solar dryer has an average efficiency of 23.1% bigger compared with drying at the yard; and that the average air temperature obtained inside the solar dryer is 76% larger than the mean ambient temperature.

Keywords: Solar dryer, Castor beans, Biodiesel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	Esquema representativo do processo de produção de biodiesel	33
Figura 2.2	Maquinário utilizado no processo de produção de biodiesel	34
Figura 2.3	Maquinário utilizado no processo de produção de biodiesel de mamona	35
Figura 2.4	Planta de mamoneira com cachos e plantação	36
Figura 2.5	Cachos de mamona	37
Figura 2.6	Semente de mamona	38
Figura 2.7	Espectro eletromagnético da radiação em função do comprimento de onda.....	41
Figura 2.8	Processo de absorção, reflexão e transmissão em um meio semitransparente.....	45
Figura 2.9	Órbita da terra em torno do sol	46
Figura 2.10	Secagem de mamona em terreiro	50
Figura 2.11	Diagrama representativo do processo de secagem.....	51
Figura 2.12	Fluxograma mostrando a classificação dos secadores	52
Figura 2.13	Secador solar desenvolvido na USP	53
Figura 2.14	Secador solar de exposição direta, desenvolvido na UFRN	53
Figura 2.15	Secador solar com concentração, desenvolvido na UFRN	54
Figura 2.16	Secador solar, desenvolvido na UFCG	54
Figura 2.17	Secador solar de radiação direta, desenvolvido na UFRN.....	55
Figura 2.18	Secador solar do tipo tabuleiro, desenvolvido da UFRN.....	55

Figura 2.19	Representação esquemática, coletor solar e reservatório térmico.....	56
Figura 2.20	Esquema básico de um secador solar com câmara de secagem.....	57
Figura 2.21	Sistema projetado para a secagem usando energia solar	58
Figura 2.22	Secador solar de radiação indireta	58
Figura 2.23	Sistema projetado do secador solar de radiação indireta com convecção forçada.....	59
Figura 2.24	Sistema de secagem da UFPA	59
Figura 2.25	Sistema de secagem da UFS	59
Figura 2.26	Estufa solar desenvolvida em Santa Maria – RS	60
Figura 2.27	Estufa para secagem de frutas.....	61
Figura 3.1	Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas – UFCG	63
Figura 3.2	Solarium do LEMT/CCT/UFCG	63
Figura 3.3	Arbusto de mamona no local onde foram colhidas.....	64
Figura 3.4	Secador solar utilizado nos testes experimentais	65
Figura 3.5	Etapas da construção do secador solar.....	66
Figura 3.6	Policarbonato utilizado no secador solar	67
Figura 3.7	Bandeja de aço inox com cantoneira, utilizada no secador solar.....	68
Figura 3.8	Entrada de ar	68
Figura 3.9	Bandeja.....	69
Figura 3.10	Placa absorvedora	69
Figura 3.11	Saída de ar.....	70
Figura 3.12	Cobertura de policarbonato transparente de 4 mm	71
Figura 3.13	Inclinação do coletor solar	71
Figura 3.14	Instrumentos para medir temperatura	72
Figura 3.15	Balança.....	72

Figura 3.16	Pesagem da mamona.....	73
Figura 3.17	Inclinação otimizada e vedação noturna do secador solar.....	74
Figura 3.18	Mamona no terreiro.....	74
Figura 3.19	Mamona enrolada no plástico.....	75
Figura 3.20	Determinação da temperatura ambiente e do ar no secador solar.....	75
Figura 4.1	Variação de massa de mamona em E1.....	79
Figura 4.2	Temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador em E1	80
Figura 4.3	Variação de massa de mamona em E2.....	82
Figura 4.4	Temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador em E2	83
Figura 4.5	Variação de massa de mamona em E3.....	84
Figura 4.6	Temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador em E3	85
Figura 4.7	Variação de massa de mamona em E4.....	87
Figura 4.8	Temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador em E4	87
Figura 4.9	Comparativo da perda de massa de mamona no secador solar para E1, E2, E3 e E4.....	89
Figura 4.10	Comparativo da perda de massa de mamona no terreiro para E1, E2, E3 e E4.....	89
Figura 4.11	Temperatura do ar na entrada do secador durante os testes.....	90
Figura 4.12	Temperatura do ar no interior do secador durante os testes.....	91
Figura 4.13	Temperatura do ar na saída do secador durante os testes.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Matérias-primas para produção de biodiesel	29
Tabela 2.2.	Produção de Mamona (Quantidade, valor da produção e área colhida) .	30
Tabela 4.1	Dados característicos da mamona utilizada nos testes experimentais	78
Tabela 4.2	Resumo dos valores obtidos nos quatro testes experimentais	92
Tabela A1	Experimento 1, variação de massa da mamona, dias 01 e 02 de outubro 2011	105
Tabela A2	Experimento 1, medida da temperatura do ar ambiente e no secador, dias 01 e 02 de outubro 2011	106
Tabela B1	Experimento 2, variação da massa da mamona dias 08 e 09 de outubro 2011	107
Tabela B2	Experimento 2, medida da temperatura do ar ambiente e no secador, dias 08 e 09 de outubro 2011	108
Tabela C1	Experimento 3, variação da massa da mamona dia 31 de outubro e 01 de novembro 2011	109
Tabela C2	Experimento 3, medida da temperatura do ar ambiente e no secador, dia 31 outubro e 01 novembro de 2011	110
Tabela D1	Experimento 4, variação da massa da mamona dia 18 e 19 de abril de 2012.....	111
Tabela D2	Experimento 4, medida da temperatura do ar ambiente e no secador, dia 18 e 19 de abril de 2012	112
Tabela E1	Variação da massa da mamona no secador solar para cada experimento	114
Tabela E2	Variação da massa da mamona no terreiro para cada experimento	115

Tabela E3	Variação da temperatura na entrada do secador solar para cada experimento.....	116
Tabela E4	Variação da temperatura no interior do secador solar para cada experimento.....	117
Tabela E5	Variação da temperatura na saída do secador solar para cada experimento	118
Tabela Ia	Dados meteorológicos de Campina Grande - PB.....	120
Tabela IIa	Dados meteorológicos de Campina Grande, nos respectivos dias de testes E1, E2, E3, E4 as 00:00 horas.....	123
Tabela IIb	Dados meteorológicos de Campina Grande, nos respectivos dias de testes E1, E2, E3, E4 as 12:00 horas.....	124
Tabela IIc	Dados meteorológicos de Campina Grande, nos respectivos dias de testes E1, E2, E3, E4 as 18:00 horas.....	125

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AEAC	Álcool Etílico Anidro Combustível
AEHC	Álcool Etílico Hidratado Combustível
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
CTRN	Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DCA	Departamento de Ciências Atmosféricas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GNV	Gás Natural Veicular
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Rec. Nat. Renováveis
ICE	Ignição por Centelha (motores do ciclo otto)
ICO	Ignição por Compressão (motores do ciclo diesel)
LEMT	Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas
LPF	Laboratório de Produtos Florestais
MCI	Motores de Combustão Interna
MME	Ministério das Minas e Energia
PNPB	Programa Nacional de Produção de Biodiesel
PROALCOOL	Programa Nacional do Álcool
PROCONVE	Programa de Controle Poluição do Ar por Veículos Automotores
UAEM	Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica

UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UFS	Universidade Federal de Sergipe

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Justificativa	22
1.2	Objetivos	22
1.2.1	Geral.....	22
1.2.2	Específicos	23

CAPÍTULO II

2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
2.1	Combustíveis.....	25
2.2	Biodiesel	27
2.2.1	Matéria-prima para produção de biodiesel	28
2.2.2	Processo de produção de biodiesel	30
2.3	Mamona	36
2.3.1	Características botânicas.....	36
2.3.1.1	O fruto	37
2.3.1.2	A semente.....	38
2.3.2	Importância socioeconômica	39
2.4	Radiação solar	40
2.4.1	Radiação térmica.....	41
2.4.2	Teoria da propagação corpuscular	42
2.4.3	Lei de Stefan-Boltzmann	43
2.4.4	Fluxo de calor por radiação.....	43

2.4.5	Lei de Wien.....	44
2.4.6	Propriedades da radiação	44
2.5	Movimento aparente do sol.....	45
2.5.1	Dias de solstício	46
2.5.2	Dias de equinócio.....	46
2.5.3	Movimento de rotação da Terra.....	46
2.5.4	Equação de Cooper/declinação solar	47
2.5.5	Coordenadas geográficas	47
2.5.6	Número de horas de sol.....	48
2.5.7	Zênite	48
2.6	Secagem	48
2.6.1	Tipo de secadores.....	51
2.7	Estado da arte sobre secador solar no Brasil.....	52
2.7.1	Secador solar com exposição direta	52
2.7.2	Secador solar com câmara de secagem	56
2.7.3	Estufa solar.....	60

CAPÍTULO III

3	MATERIAIS E MÉTODOS	63
3.1	Localização dos testes.....	63
3.2	Características da mamona	64
3.3	Secador solar	65
3.3.1	Características construtivas.....	65
3.3.2	Modificações realizadas.....	67
3.3.3	Características do secador	68
3.3.3.1	Entrada de ar	68

3.3.3.2	Bandeja	69
3.3.3.3	Placa absorvedora	69
3.3.3.4	Saída de ar	70
3.3.3.5	Cobertura.....	70
3.3.3.6	Inclinação	71
3.4	Instrumentos de medição utilizados	71
3.4.1	Termopares e balança	71
3.5	Metodologia	72
3.5.1	Medida da variação de massa da mamona no secador solar	73
3.5.2	Medida da variação de massa da mamona no terreiro	74
3.5.3	Determinação da temperatura do ar no secador solar	75

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1	Experimento 1 - Curvas de secagem e dados de temperatura.....	78
4.2	Experimento 2 - Curvas de secagem e dados de temperatura.....	82
4.3	Experimento 3 - Curvas de secagem e dados de temperatura.....	84
4.4	Experimento 4 - Curvas de secagem e dados de temperatura.....	86
4.5	Comparação das curvas de secagem e de temperatura em E1, E2, E3, E4	88

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS ...	94
5.1	Conclusões	94
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	95

REFERÊNCIAS.....	98
APÊNDICES.....	104
APÊNDICE A.....	105
APÊNDICE B.....	107
APÊNDICE C.....	109
APÊNDICE D.....	111
APÊNDICE E.....	113
ANEXOS.....	119
ANEXO I.....	120
ANEXO II.....	123
ANEXO III.....	126

Capítulo I
Introdução

1. INTRODUÇÃO

O biodiesel surgiu mundialmente como uma alternativa promissora aos combustíveis minerais, derivados do petróleo. O caráter renovável torna o produto uma fonte importante de energia a longo prazo, além de outras vantagens.

Segundo Moreira *et al.* (2008), o biodiesel puro (B100), ou parcialmente (na maioria das proporções), misturado com o diesel, polui menos o meio ambiente comparativamente que o diesel.

Os investimentos feitos pelo País têm sido fundamentais para consolidar o biocombustível, como alternativa economicamente viável de energia limpa (BRASIL.GOV, 2012).

A busca por combustíveis alternativos vem ganhando destaque nas últimas décadas. A substituição dos combustíveis fósseis tem sido motivada por fatores ambientais, econômicos e sociais, uma vez que toda a sociedade depende de seu uso (Oliveira *et al.*, 2007).

Góes (2006) ressaltou o crescente desenvolvimento da utilização do biodiesel no mundo, com ênfase no Brasil, União Europeia, Alemanha, França, Estados Unidos, Austrália e Argentina.

A soja é a cultura mais utilizada na fabricação do biodiesel brasileiro, respondendo por cerca de 80% da produção (BRASIL.GOV, 2012).

Segundo Anunciação (2007), a mamona se adapta muito bem ao clima e às condições da região semi-árida do Brasil, compreendendo quase todo o Nordeste e o norte de Minas Gerais. O óleo da mamoneira é tido como um dos mais versáteis do ponto de vista agropecuário e industrial, de utilidade só comparável a do petróleo, com a vantagem de ser um produto renovável e barato.

De acordo com Costa *et al.* (2008), nos últimos anos, com o despertar para energias renováveis como o biodiesel, o óleo de ricino começou a ser enxergado como meio produtivo para obtenção de combustível renovável. Essa cultura poderá vir a ser a principal fonte para a produção do biodiesel no Brasil.

Conforme Menezes *et al.* (2011), as etapas que antecedem a etapa de extração do óleo da semente, se destinam ao preparo e ao condicionamento da matéria-prima

para os extratores, sendo, basicamente as seguintes: recebimento, pesagem, limpeza, descascamento, moagem e laminação. O processo de refino do óleo compreende as seguintes etapas: decantação, filtração e/ou a destilação da miscela, seguido da degomagem, neutralização, branqueamento, desodorização e secagem do óleo. O tema deste trabalho foi pensado com foco nesta etapa do processo. Foi projetado (dimensionado, construído e testado experimentalmente) um protótipo de um secador solar. O equipamento em desenvolvimento é do tipo secador solar de exposição direta da radiação solar e tem como característica fundamental ser simples, fácil de construir, operar e ser de baixo custo. Esse tipo de secagem é mais eficiente, com relação à secagem efetuada em terreiros, diminuindo o tempo de exposição ao sol e livrando o produto de intempéries, além de se enquadrar nos padrões nacionais e internacionais de higiene.

Segundo Diaconia (2006), já é realizado um processo de secagem que antecipa a extração do óleo da semente; esse processo é realizado em terreiro, durando em torno de dois a cinco dias.

Conforme Licumba (2009), o processo de desidratação é um processo simples e consiste na eliminação de água de um produto por evaporação, com transferência de calor e massa. A redução no teor de água pela secagem influencia as propriedades físicas dos frutos da mamoneira, como exemplo disto o valor da massa específica sofre redução de seu valor.

A energia solar é um recurso energético renovável, que não polui o ambiente. O uso da energia solar se insere no contexto do mundo globalizado, que procura novas fontes de energia, ambientalmente adequadas à promoção do desenvolvimento sustentável. Um dos problemas da utilização da energia solar é sua irregularidade ao longo do dia e ao longo do ano. Diferentemente de uma estufa elétrica, em que a temperatura e umidade do ar no seu interior é controlada pelo operador com valores padrões e na faixa desejável, o secador solar depende muito das condições atmosféricas.

O Brasil dispõe de um grande potencial de uso de energia solar em quase todo seu território, notadamente na região Nordeste. Essa mesma energia constitui-se em uma opção vantajosa na viabilidade de muitos projetos que poderiam promover o desenvolvimento dessa região em vários setores, como na secagem de frutos tropicais, no aproveitamento da energia solar para o aquecimento domiciliar de água e, também, para a transformação da radiação solar em energia elétrica.

Neste trabalho são apresentadas as características construtivas e de funcionamento do secador solar desenvolvido e as curvas de secagem da mamona obtidas experimentalmente, tanto nos processos de secagem em terreiro quanto na secagem usando o secador solar, seguindo-se a comparação dos resultados obtidos.

1.1 Justificativa

No processo de transformação da mamona em óleo *in natura*, é encontrada uma grande quantidade de água, pois a mamona é uma oleaginosa que contém elevado teor de umidade. Essa água contida na semente precisa ser eliminada, para melhorar a quantidade e a qualidade do óleo obtido. Esse processo, em geral, é efetuado usando energia elétrica ou combustível de origem fóssil. Atualmente é comum a realização de uma secagem antecipada da mamona, geralmente realizada nos terreiros das propriedades rurais. Este processo é conhecido como secagem ao ar livre, secagem natural ou secagem em terreiro. O problema, neste tipo de procedimento, é o tempo necessário para realização da secagem e as perdas ocasionadas decorrente da ação das intempéries e dos animais que circulam livremente entre o produto. A utilização do secador solar vai contribuir para reduzir o tempo de secagem e inserir qualidade ao produto final.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Desenvolver um sistema de secagem solar, utilizado para reduzir o teor de umidade em oleaginosas, usadas na produção de biodiesel. O sistema em desenvolvimento (projeto, construção e testes), será testado experimentalmente na secagem de mamona.

1.2.2 Específicos

- Projetar o secador solar definindo suas características construtivas e operacionais;
- Construir um protótipo do secador solar de exposição direta e testar, experimentalmente, seu funcionamento na secagem da mamona;
- Obter, experimentalmente, a curva de secagem da mamona em terreiro e no secador solar e comparar os resultados obtidos;
- Medir a temperatura do ar no interior do secador solar e no ambiente, durante o processo de secagem da mamona e comparar os resultados obtidos.

Capítulo II
Fundamentação Teórica

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Combustíveis

Segundo Oliveira *et al.* (2007), o fim da era da madeira, após a Revolução Industrial, foi marcado pela introdução do uso do carvão mineral, originando a era dos combustíveis fósseis. No início do século XX, o petróleo consagrou-se como a principal fonte energética mundial. Este, além de emitir grande quantidade de gases poluentes, tem suas maiores jazidas localizadas em regiões politicamente conturbadas, o que provoca constantes variações em seu preço.

Desde que o petróleo foi descoberto, no final do século XIX, foi consumido pela sociedade de forma abundante, principalmente na atual sociedade industrial e de consumo. Na década de 70, descobriu-se que o petróleo é uma fonte esgotável. Tal afirmação elevou o preço do produto e em pouco mais de sete anos, o preço do barril de petróleo praticamente triplicou. Isso provocou o aumento do valor do produto primário de países subdesenvolvidos, superando os preços dos produtos industrializados oriundos de países desenvolvidos (Freitas, 2012).

No Brasil, entre os anos de 1970 e 1980, foram desenvolvidos programas para obtenção de combustíveis a partir de biomassa. Exemplo marcante é o Pró-álcool, que procurava substituir o uso da gasolina por álcool combustível. Além do Pró-álcool, foi criado o Pró-óleo, com o intuito de substituir o diesel por derivados de triacilglicerídeos. No entanto, com a estabilização do preço do petróleo no mercado internacional em 1986, o Pró-óleo foi abandonado sem ter chegado ao mercado consumidor (Oliveira *et al.*, 2007).

Segundo dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2012), o Brasil apresentou em 2010 um crescimento em relação a 2009 de 8,6% no consumo de petróleo, chegando a 2,6 milhões de barris/dia ou 3% do consumo mundial, que foi de 87,4 milhões de barris/dia. Entre os derivados produzidos no Brasil, o óleo diesel teve participação de 37,6% ou 41,4 milhões m³, e a gasolina A de 20,9% ou 23,1 milhões m³. A produção de óleo diesel sofreu uma retração de 3,4%, enquanto a de gasolina A aumentou 10,5%.

Atualmente, no Brasil existe um grande investimento em pesquisas e produção de biodiesel, visando uma diminuição na sua matriz energética dos combustíveis fósseis. Em janeiro de 2012, dados preliminares com base nas entregas dos leilões promovidos pela ANP mostram que a produção estimada de combustíveis fósseis no último mês (dezembro de 2011) foi de 181 mil m³, uma diminuição de 3% em relação ao mesmo período de 2010 (186 mil m³). Destaca-se a produção acumulada de biodiesel, que em 2011 atingiu 2,64 milhões de m³ (MME, 2012).

O uso de combustíveis alternativos vem ganhando destaque, pois além do petróleo ser uma fonte esgotável de energia, emite grande quantidade de gases poluentes. Muitas propostas têm surgido para substituição dos combustíveis fósseis, destacando-se o AEHC e os biocombustíveis derivados de óleos ou gorduras, que surgem como uma promessa para substituição do óleo diesel, com especial destaque para o biodiesel (Oliveira *et al.*, 2007).

Dois assuntos têm frequentado constantemente os noticiários dos últimos anos: o aquecimento global e a alta do preço do petróleo. Ambos estão intimamente ligados, uma vez que o aquecimento global é provocado, principalmente, pela emissão dos gases causadores do efeito estufa que, por sua vez, têm na queima de combustíveis fósseis (derivados de petróleo, gás e carvão) o seu principal culpado (Jank, 2008).

Na busca por veículos sustentáveis, que transportem mais, gastem menos e poluam menos, surge o uso dos combustíveis alternativos, dos quais fazem parte o gás natural, o etanol, o diesel de cana-de-açúcar e o biodiesel de óleos vegetais; pois, além da economia de recursos naturais, quanto menos combustível se usa, menores são as emissões de CO₂ lançadas no ar (SINDER, 2012).

Durante quase meio século, o Brasil desenvolveu pesquisas sobre biodiesel, promoveu iniciativas para usos em testes. Nos últimos anos, por meio do Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), o Governo Federal organizou a cadeia produtiva, definiu as linhas de financiamento, estruturou a base tecnológica e editou o marco regulatório do novo combustível (Jucá, 2008).

Cresce o interesse do Brasil e do mundo em fontes renováveis de energia por serem menos poluentes. Os significativos investimentos públicos e privados reiteram a percepção da importância irreversível desse mercado (SEBRAE, 2007).

2.2 Biodiesel

O biodiesel é um combustível utilizado em motores de combustão interna de ignição por compressão (ciclo diesel), sendo utilizado em diversas aplicações: ônibus, caminhões e tratores, entre outras. Motores do ciclo diesel são ditos de ignição por compressão, pois o combustível, vaporizado e misturado com ar, queima pela ação da compressão exercida por um pistão na câmara de combustão, sem a necessidade de uma centelha (Oliveira *et al.*, 2007).

Entre 1911 e 1912, Rudolf Diesel fez a seguinte afirmação: “O motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais, e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo... O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante hoje em dia. Mas com o tempo tais óleos irão se tornar tão importantes quanto o petróleo e o carvão são atualmente.” (BIODIESELBR, 2012).

Esse combustível é utilizado para substituição do óleo diesel, em percentuais adicionados no óleo diesel ou integral, nos motores do ciclo diesel. Mundialmente, passou-se a adotar uma nomenclatura bastante apropriada para identificar a concentração do biodiesel na mistura. É o biodiesel BXX, onde XX é a percentagem em volume do biodiesel à mistura. Por exemplo, o B2, B5, B20 e B100 são combustíveis com uma concentração volumétrica de 2%, 5%, 20% e 100% de biodiesel, respectivamente (SEBRAE, 2007).

Os biocombustíveis despontam, neste início do milênio, como um dos principais vetores da transição energética para um futuro sustentável, baseada em recursos de origem fotossintética e favorecendo aos países dotados de clima e solo adequados. O Brasil destaca-se de modo especial nesse contexto, pois conjuga boas condições edafoclimáticas, com farta disponibilidade de terras e domínio de tecnologias agroindustriais (Nogueira, 2008).

Segundo a Embrapa (2007), as fontes renováveis de energia assumem importante presença no mundo contemporâneo pelas seguintes razões:

- ✓ Os cenários futuros apontam para a possível finitude das reservas de petróleo, gás natural e carvão mineral;
- ✓ A concentração de petróleo explorado, atualmente, está em áreas geográficas de conflito, o que impacta no preço e na regularidade de fornecimento do produto;

- ✓ As novas jazidas em prospecção estão situadas geograficamente em áreas de elevado custo para a sua extração;
- ✓ As mudanças climáticas com as emissões de gases de efeito estufa liberados pelas atividades humanas e pelo uso intensivo de combustíveis fósseis, com danosos impactos ambientais, reorientam o mundo contemporâneo para a busca de novas fontes de energia com possibilidade de renovação e que assegurem o desenvolvimento sustentável.

Com o aumento da mistura de B5 para B10, o país reduziria e muito a necessidade de importação de diesel convencional. Em 2011, o Brasil evitou a importação de 2,5 bilhões de litros de diesel com a adoção do B5, em vigor desde dezembro de 2010 (Barbosa, 2011).

2.2.1 Matéria-prima para produção de biodiesel

Mediante o processo de transesterificação, os óleos e gorduras reagem com alcoóis (etanol ou metanol), cedem glicerina de sua composição e se transformam em ésteres de ácidos graxos, semelhantes ao óleo diesel em termos de cetanagem, viscosidade e poder calorífico, características determinantes para o desempenho de motores do ciclo diesel (Nogueira, 2008).

As alternativas de matéria graxas para uso energético são de origem vegetal (óleos como o de soja, girassol, amendoim, palma, dentre outros) ou animal (sebo), comestíveis ou não (mamona, pinhão-manso), ou ainda residuais, como óleos e gorduras de fritura. Apesar de conter apenas 20% de óleo, a soja (*Glycine max L. Merr.*) é a principal oleaginosa em volume de produção de grãos e de produção de óleo em todo o mundo, dividindo o mercado com o extraído da palma (D'Arce e Vieira, 2008).

Segundo Pessoa *et al.* (2007), a região Nordeste se destaca com um grande potencial para produção de biodiesel de mamona, em sua região semi-árida, em particular, podendo utilizar-se desta alternativa para incluir no processo, agricultores familiares desprovidos de alternativas mais rentáveis.

Dentre as inúmeras variedades de oleaginosas existentes que podem ser utilizadas como matéria-prima para produção de biodiesel, as principais podem ser visualizadas na Tabela 2.1, com algumas de suas propriedades.

Tabela 2.1. Matérias-primas para produção de biodiesel.

Espécie	Origem do óleo	Porcentagem de óleo (%)	Meses de colheita	Rendimento em óleo (t/ha)
Dendê	Amêndoa	22	12	3,0 – 6,0
Babaçu	Amêndoa	66	12	0,1 – 0,3
Girassol	Grão	38 – 48	3	0,5 – 1,9
Colza / Canola	Grão	40 – 48	3	0,5 – 0,9
Mamona	Grão	45 – 50	3	0,5 – 0,9
Amendoim	Grão	40 – 43	3	0,6 – 0,8
Soja	Grão	18	3	0,1 – 0,2

Fonte: Genovese *et al.* (2006).

Dentre as principais oleaginosas destacam-se a soja e a mamona. A soja apresenta baixo teor de óleo e mesmo assim é a oleaginosa mais utilizada para produzir biodiesel no Brasil, e a mamona que tem um alto teor de óleo e é resistente a seca.

Na Tabela 2.2 pode ser visualizada a quantidade de estabelecimentos, a produção, a venda, o valor de cada produção e a área colhida da mamona no Brasil, no Nordeste e em alguns Estados, referente ao ano de 2006.

Segundo o IBGE, em 2010, a área de mamona colhida no Brasil foi estimada em 149.803 ha, onde 141.024 ha pertencem à região Nordeste, o que corresponde a aproximadamente 94,6 % da colheita, tendo a Bahia como seu principal produtor, aproximadamente 107.051 ha.

Tabela 2.2 Produção de Mamona (Quantidade, valor da produção e área colhida).

Produção, valor da produção e área colhida de mamona.					
Brasil	Estabelecimentos	Quantidade		Valor da produção (1000 R\$)	Área colhida (ha)
		Produzida (t)	Vendida (t)		
Brasil	23.681	61.835	59.976	31.496	110.744
Nordeste	22.659	58.853	57.865	29.670	108.145
Maranhão	96	222	210	244	176
Piauí	1.276	4.338	4.254	1.886	8.409
Ceará	783	1.204	950	568	1.882
Rio Grande Norte	39	55	49	34	52
Paraíba	89	77	61	36	120
Pernambuco	919	2.253	2.185	1.317	3.247
Alagoas	31	24	22	4	39
Sergipe	8	4	1	3	4
Bahia	19.418	50.677	50.134	25.578	94.109

Fonte: Censo Agropecuário (2006).

2.2.2 Processo de produção de biodiesel

Segundo Menezes *et al.* (2011), a seleção da rota de extração depende de dois fatores: a capacidade produtiva e o teor de óleo. Dependendo da matéria-prima, são indicados diferentes tipos de usinas:

- ✓ usinas de extração mecânica – pequenas e médias capacidades, normalmente abaixo de 200 ton de grãos por dia. Oleaginosas de alto teor de óleo, acima de 35% (mamona, amendoim e babaçu);

- ✓ usinas de extração por solvente – grandes capacidades, normalmente acima de 300 ton por dia de matéria-prima. Oleaginosas com teor de óleo abaixo de 25% (soja);
- ✓ usinas mistas – médias e grandes capacidades, acima de 200 ton por dia. Oleaginosas de médio e grande teor de óleo, acima de 25% (algodão, mamona, amendoim, babaçu e girassol).

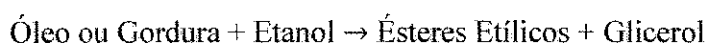
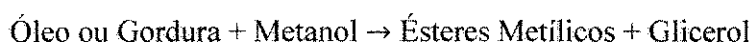
Conforme Goés (2006), as etapas do processo de produção de biodiesel são as seguintes:

(a) Preparação da matéria-prima

Em princípio, é importante e necessário que a matéria-prima tenha o mínimo de umidade e de acidez, o que se torna possível submetendo-a a um processo de neutralização, através de uma lavagem com uma solução alcalina de hidróxido de sódio ou de potássio, seguida de uma operação de secagem ou desumidificação. As especificidades do tratamento dependem da natureza e condições da matéria graxa empregada como matéria prima.

(b) Reação de transesterificação

A reação de transesterificação é a etapa da conversão, propriamente dita, do óleo ou gordura em ésteres metílicos ou etílicos graxos, que constitui o biodiesel. A reação pode ser representada pela seguinte equação química:



A primeira reação química representa a reação de conversão, quando se utiliza o metanol (álcool metílico) como agente de transesterificação, obtendo-se, dessa forma, como produtos os ésteres metílicos que constituem o biodiesel, e o glicerol (glicerina).

A segunda equação envolve o uso do etanol (álcool etílico), como agente de transesterificação, resultando como produto o biodiesel representado por ésteres etílicos e a glicerina.

(c) Separação de fases

Após a reação de transesterificação, que converte a matéria graxa em ésteres (biodiesel), a massa reacional final é constituída de duas fases, separáveis por decantação e/ou por centrifugação. A fase mais pesada é composta de glicerina bruta, impregnada dos excessos utilizados de álcool, de água, e de impurezas inerentes à matéria-prima. A fase menos densa é constituída de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos, conforme a natureza do álcool originalmente adotado, também impregnado de excessos reacionais de álcool e de impurezas.

(d) Recuperação do álcool da glicerina

A fase pesada, contendo água e álcool, é submetida a um processo de evaporação, eliminando-se da glicerina bruta esses constituintes voláteis, cujos vapores são liquefeitos num condensador apropriado.

(e) Recuperação do álcool dos ésteres

De forma similar à anterior, mas separadamente, o álcool residual é recuperado da fase mais leve, liberando para as etapas seguintes, os ésteres metílicos ou etílicos.

(f) Desidratação do álcool

Após o processo de recuperação, os excessos residuais de álcool contêm quantidades significativas de água, que necessitam ser separadas. Essa desidratação do álcool é feita normalmente através da destilação. Existe uma diferença nessa desidratação com relação ao uso do metanol com o etanol.

Com relação ao metanol, a desidratação é simples, uma vez que a volatilidade relativa dos constituintes dessa mistura é muito grande, e, além disso, inexistente o fenômeno da azeotropia para facilitar a completa separação.

No caso do etanol, essa desidratação complica-se em razão da azeotropia, associada à volatilidade relativa não acentuada, como é o caso da separação da mistura metanol-água.

(g) Purificação dos ésteres

Os ésteres deverão ser lavados por centrifugação e desumificados posteriormente, resultando finalmente o biodiesel, o qual deverá ter suas características enquadradas nas especificações das normas técnicas estabelecidas para o biodiesel como combustível para uso em motores de ciclo diesel.

(h) Destilação da glicerina

A glicerina bruta, emergente do processo, mesmo com suas impurezas convencionais, já constitui o subproduto vendável. No entanto, o mercado é muito mais favorável à comercialização da glicerina purificada, quando o seu valor é realçado. A purificação da glicerina bruta é feita por destilação a vácuo, resultando um produto límpido e transparente, denominado comercialmente de glicerina destilada. O produto da calda da destilação, ajustável na faixa de 10 – 15% do processo da glicerina bruta, que pode ser denominado de “glicerina residual” ainda encontra possíveis aplicações importantes.

Um esquema representativo do processo de produção do biodiesel é mostrado na Figura 2.1 e o maquinário, geralmente utilizado no processo de produção, é mostrado na Figura 2.2.

Figura 2.1. Esquema representativo do processo de produção de biodiesel.

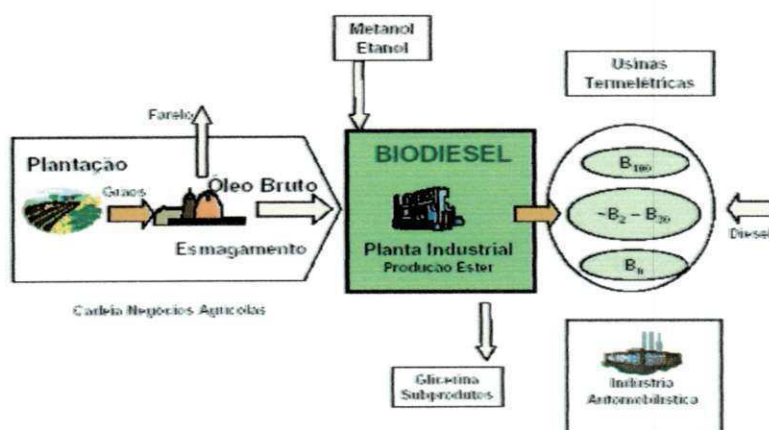
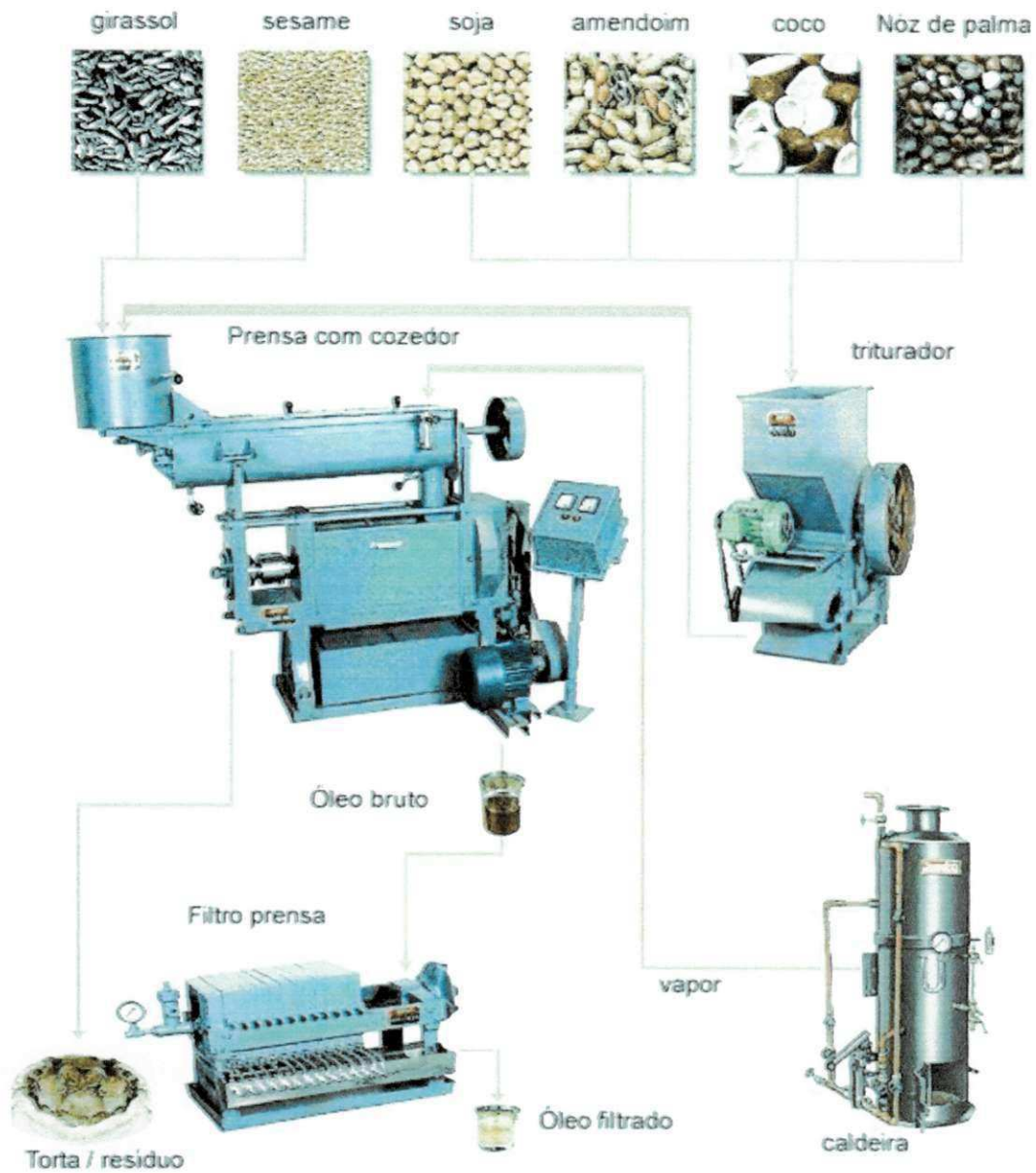


Figura 2.2. Maquinário utilizado no processo de produção de biodiesel.



Fonte: Biodieselbr, 2012.

Na Figura 2.3 é mostrado o maquinário utilizado no processo de produção do biodiesel de mamona

Figura 2.3. Maquinário utilizado no processo de produção de biodiesel de mamona.



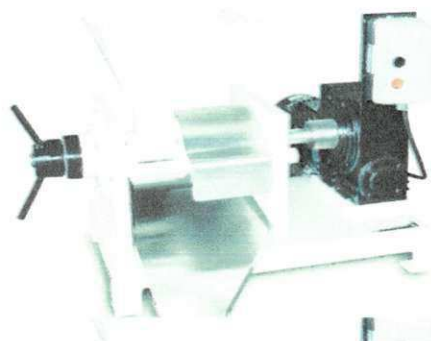
Descascador de Mamona DME-100



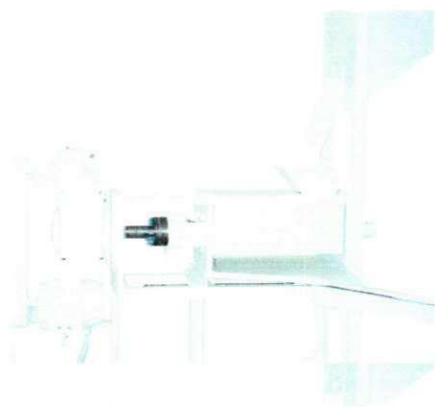
Moinho triturador MTE-40



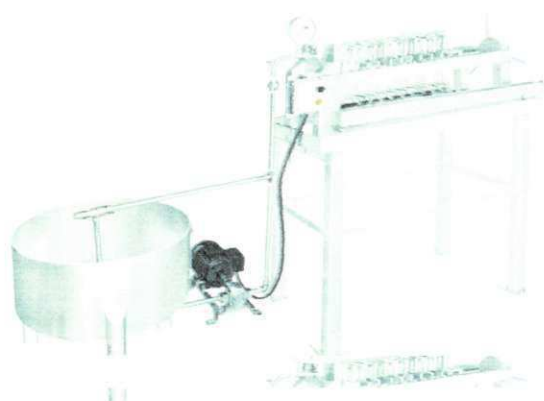
Cozinhador de mamona



Prensa de extração de óleo de mamona



Prensa para extração do óleo de mamona



Filtros para a purificação do óleo

2.3 Mamona

2.3.1 Características botânicas

A mamoneira (*Ricinus communis* L.), também conhecida como carrapateira, palma-cristi ou enxerida, é um arbusto bastante complexo no que tange à morfologia, biologia floral e fisiologia, apresentando metabolismo fotossintético ineficiente (C₃), porte muito variado, de 0,8 a mais de 7,0 m de altura, ramificação caulinar simpodial, raiz fistulosa e vários tipos de expressão da sexualidade (Azevedo e Beltrão, 2007).

Espécie pertencente à família *euphorbiaceae*, *heliófila*, de razoável nível de xerofitismo e de ampla capacidade de adaptação, necessitando de chuvas regulares durante a fase vegetativa e de períodos secos na maturação dos frutos (Góes, 2006).

Planta de origem africana que se adaptou no Brasil de forma ampla, a mamoneira (Figura 2.4) é encontrada de Norte a Sul do país. A cultura deve ser implantada em áreas com altitude variando de 300 m a 1500 m, pluviosidade de 500 mm a 1000 mm por ano, temperatura de 20°C a 30°C, ideal 23°C - é uma planta exigente em luminosidade (Beltrão *et al.* 2006).

Figura 2.4. Planta de mamoneira com cachos e plantação.



Fonte: Diaconia (2006).

A mamoneira é uma planta exigente e só se dá bem em solos bons, com boa fertilidade, bem preparados e cuidados. A utilização ou preparo do solo de forma incorreta e o plantio da mamona ano após ano, leva o solo à perda de sua fertilidade, chegando a estágios de degradação muito avançado (Diaconia, 2006).

De acordo com Câmara *et al.* (2008), é uma planta rústica e resistente à seca, sendo cultivada comercialmente entre os paralelos de latitude 40°N e 40°S. Com relação à umidade relativa do ar, a mamoneira prefere níveis médios, de 50% a 65%, como a faixa ideal, pois, em locais com umidade muito elevada, a incidência de doenças aumenta e o metabolismo da planta é alterado. Não são apenas estes fatores ambientais que influenciam o metabolismo da planta; a disponibilidade de água influencia bastante o seu crescimento e desenvolvimento (Vale, 2009).

A estrutura da planta da mamoneira é complexa, pois mesmo dentro de cada ano, a maturidade é desuniforme e a cultura pode recrescer, dependendo das condições do ambiente. Desta forma, mesmo determinando a maturidade, a planta (algumas de suas partes) continua crescendo e assim não há determinação do período vegetativo, nem reprodutivo, e a maturação depende da ordem de cada cacho das plantas (Vale, 2009).

No Brasil, seu cultivo ocorre praticamente em todos os Estados nordestinos. Nos últimos anos, este cultivo sofreu grande expansão, devido, principalmente, a sua capacidade de adaptação a diferentes condições de solo e clima (Câmara *et al.*, 2008).

2.3.1.1 O fruto

O fruto da mamoneira, popularmente conhecido como mamona. Segundo Góes (2006), é o ovário fecundado e desenvolvido, uma cápsula que pode ser lisa ou com estrutura semelhante a espinho, podendo ainda ser deiscente ou indeiscente. No amadurecimento, ele se abre ou não, e pode liberar as sementes, dependendo do nível de deiscência, como mostrado na Figura 2.5.

Figura 2.5. Cachos de mamona.



Fonte: Souza (2007).

Segundo a Embrapa (2012), o cacho tem conformação cônica, cilíndrica ou mais ou menos esférica, variando no comprimento de 10 a 80 cm, dependendo do ambiente e cultivar. O fruto pode apresentar-se na cor verde, vermelha ou com colorações intermediárias.

2.3.1.2 A semente

Segundo Diaconia (2006), a colheita da mamona tem que ser feita no período que não está chovendo, quando 2/3 dos frutos dos cachos estiverem maduros, com a coloração marrom. Se a colheita demorar demais, as bagas começam a se abrir na planta lançando as sementes à distância. Isso vai dificultar a colheita.

A extração do óleo da semente ou da baga (semente descascada), mostrada na Figura 2.6, é realizada por meio de máquinas apropriadas. O método utilizado para extrair o óleo pode ser “prensagem”, a frio ou a quente, ou “extração por solvente” (Góes, 2006).

Figura 2.6. Semente de mamona.



Fonte: <http://pixabay.com/pt/sementes-mamona-planta-4454/>, (2012).

Segundo Menezes *et al.* (2011), no caso das plantas tropicais, a única espécie cultivada com o uso específico de extração de óleo não comestível foi a mamona. O teor de óleo *in natura* extraído da semente fica em torno de 45%, como já observado na Tabela 2.1.

2.3.2 Importância socioeconômica

Nos anos 70, teve grande importância para a agricultura e a economia do semiárido brasileiro, num tempo em que era muito comum o seu plantio e numa época em que o mercado para a mamona era seguro. Ou seja, o que se plantava se vendia. Depois, o mercado entrou em decadência e as famílias foram abandonando o plantio da mamona na maior parte do Nordeste (Diaconia, 2006).

A região Nordeste possui mais de 85% da área plantada do país. A produção do Nordeste corresponde a 78% da produção nacional de bagas, sendo que a maior parte é proveniente do Estado da Bahia (Diaconia, 2006).

A mamona é uma oleaginosa de destaque e elevada importância no Brasil e no mundo. Seu óleo é uma matéria-prima de aplicações únicas na indústria química, devido a características peculiares de sua molécula que lhe fazem o único óleo vegetal naturalmente hidroxilado, além de uma composição com predominância de um único ácido graxo, ricinoléico, o qual lhe confere as propriedades químicas atípicas (EMBRAPA, 2012).

De acordo com Costa *et al.* (2010), o óleo adquirido da semente da mamona tem larga utilização na composição de inúmeros produtos como: tintas, vernizes, cosméticos, fluidos hidráulicos e plásticos. Conforme Câmara *et al.* (2008), além desses produtos, também pode ser utilizado para próteses de ossos humanos, dentre outras. Atualmente, é uma das alternativas brasileiras para redução da importação de óleo diesel e da emissão de poluentes e gases de “efeito estufa” na atmosfera, quando utilizada na produção de biodiesel.

Com a política de incentivo do Governo Federal em adicionar biodiesel ao óleo diesel convencional, abrem-se grandes possibilidades concretas de geração de renda para as famílias agricultoras do semi-árido brasileiro, a partir do cultivo da mamona para a venda de bagas, mas também para a participação dessas famílias na cadeia da fabricação do biodiesel (Diaconia, 2006).

O cultivo da mamona no semiárido surge como uma vertente de atuação nas áreas econômicas, ambiental e social. Gera emprego e renda, fortalecendo a economia agrícola e o setor rural, com forte impacto no campo no que diz respeito à pequena agricultura de base familiar, com o advento de uma nova matriz energética e,

principalmente, com o advento do biodiesel como energia renovável (Azevedo e Beltrão, 2007).

2.4 Radiação solar

Neste sub item são apresentadas algumas características fundamentais da energia solar. Estas informações são importantes para mostrar os cuidados que se deve ter quando se desenvolve equipamentos que utilizam a radiação solar, principalmente quanto às questões referentes à inclinação do equipamento e à escolha dos materiais utilizados. Também são consideradas as questões referentes ao movimento aparente do sol para justificar a influência da hora, do dia e da época do ano na realização dos testes experimentais.

A energia solar é a fonte primordial de energia do planeta Terra, uma vez que quase todas as outras formas de energia são originadas da ação da radiação solar sobre a Terra. Esta radiação, que incide sobre a superfície do planeta, é cerca de 10.000 vezes superior à demanda atual de energia primária da humanidade (Góes, 2006).

Lima *et al.* (2006) citam alguns exemplos de fontes de energia que necessitam da energia solar para o seu desenvolvimento, como as plantas, para evaporar a água e encher as represas das hidrelétricas, para mover as pás dos moinhos e geradores elétricos, dentre outros.

O Brasil possui um elevado índice de radiação solar incidente, principalmente na região Nordeste. No semi-árido estão os melhores índices, com valores típicos de 1.752 a 2.190 kWh/m² por ano de radiação incidente. Isso posiciona o local entre as regiões do mundo com maior potencial de energia solar (Góes, 2006).

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre provém da região da fotosfera solar que é uma camada tênue com aproximadamente 300 km de espessura e temperatura superficial da ordem de 5.800 K. Porém, esta radiação não se apresenta como um modelo de regularidade, pois há a influência das camadas externas do sol (cromosfera e coroa), com pontos quentes e frios, erupções cromosféricas, dentre outros (CRESESB, 2008).

2.4.1 Radiação térmica

Segundo Grilo (2007), radiação térmica é a radiação eletromagnética emitida por um corpo em função de sua temperatura. Todo corpo com $T > 0$ K, emite radiação térmica, cabe lembrar que a transferência de calor por radiação difere da condução e da convecção por dois aspectos importantes:

- ✓ Não há necessidade de um meio material para ocorrer a transmissão de calor, podendo esta ocorrer inclusive no vácuo;
- ✓ A energia transferida é proporcional a quarta potência das temperaturas dos corpos envolvidos. Essas temperaturas são absolutas em Kelvin.

Existe uma relação entre a frequência e o comprimento de onda, dada pela Equação 1.

$$c = \lambda \nu \quad (\text{eq. 1})$$

onde:

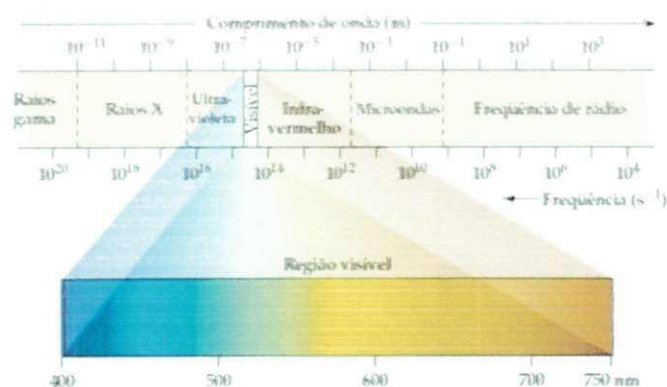
c é a velocidade de propagação da luz igual a 3×10^8 m/s;

λ é o comprimento de onda em μm ;

ν é a frequência em Hz.

A forma do espectro eletromagnético em função do comprimento de onda λ é mostrada na Figura 2.7.

Figura 2.7. Espectro eletromagnético da radiação em função do comprimento de onda.



Fonte: Grilo (2007).

As faixas características de radiação, didaticamente conhecidas como qualidade espectral, com os respectivos intervalos de valores aproximados em μm , são:

- Radiação térmica 0,10 a 100 μm
- Ultravioleta 0,01 a 0,40 μm
- Radiação visível 0,40 a 0,75 μm
- Infravermelho 0,75 a 1000 μm
- **Radiação solar** **0,10 a 2,50 μm (nível do solo)**

2.4.2 Teoria da propagação corpuscular

Segundo o conceito de Max Planck, a radiação térmica se propaga na forma de *Quanta* de energia, representado pela Equação 2.

$$E = \hbar \nu \quad (\text{eq. 2})$$

onde:

E é a energia emitida pelo corpo emissor;

\hbar é a constante de Planck ($\hbar = 6,625 \times 10^{-34}$ Js);

ν é a frequência em Hz.

Cada *Quantum*, tem massa e quantidade de movimento, obtido através da relação mostrada na Equação 3:

$$E = mc^2 = \hbar \nu \quad (\text{eq. 3})$$

onde, a massa (m) e a quantidade de movimento (mc) são dados pelas Equações 4 e 5, respectivamente:

$$m = \hbar \nu / c^2 \quad (\text{eq. 4})$$

$$mc = \hbar \nu / c \quad (\text{eq. 5})$$

O *Quantum* da energia luminosa, ou de qualquer radiação eletromagnética, é também conhecido como *fóton*.

2.4.3 Lei de Stefan-Boltzmann

Esta lei indica o máximo de energia que pode ser emitido por um perfeito emissor, em função de sua temperatura e do comprimento de onda associado à radiação (quantidade e qualidade). Para um corpo no vácuo, a expressão da lei de Stefan-Boltzmann é dada pela Equação 6:

$$E_b = \frac{2\pi c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (\text{eq. 6})$$

onde:

E é o poder emissivo do corpo, ou seja, é a energia emitida pelo corpo por unidade de área e de tempo.

E_b, λ é o poder emissivo do corpo negro (*black*), para um dado λ ;

C_1 é uma constante de integração;

C_2 é uma constante de integração;

λ é o comprimento de onda equivalente;

T é a temperatura absoluta do corpo emissor.

Integrando E_b, λ entre 0 e ∞ , como mostrado na Equação 6 chega-se a σT^4 que é a área sob a curva E_b, λ

$$E_b, \lambda (T) = \int_0^{\infty} \frac{2\pi c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} d\lambda = \sigma T^4 \quad (\text{eq. 7})$$

2.4.4 Fluxo de calor por radiação

A Equação 7 permite o cálculo da quantidade de energia, na forma de radiação, que é transferida do corpo 1 para o corpo 2. Esta transferência de energia não necessita de um meio material para ocorrer, podendo se dar inclusive no vácuo.

$$q_{rad} = \sigma A_1 \varepsilon F_{1-2} (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{eq. 8})$$

onde:

q_{rad} é o fluxo de calor por radiação;

σ é a constante de Stefan-Boltzmann;

A_1 é a área de transferência de calor por radiação do corpo emissor;

ε é a emissividade do material do corpo emissor;

F_{1-2} é o fator de forma entre o corpo emissor e o receptor;

T_1 é a Temperatura absoluta do corpo emissor;

T_2 é a Temperatura absoluta do corpo receptor.

2.4.5 Lei de Wien

Esta lei é fundamental na transferência de calor porque mostra que há um deslocamento para direita do comprimento de onda, no qual é emitido o máximo de radiação, quando se reduz a temperatura do corpo emissor. A lei de Wien é dada pela Equação 9:

$$\lambda_{m\acute{a}x}T = 2\,898\ \mu mK \quad (\text{eq. 9})$$

onde:

$\lambda_{m\acute{a}x}$ é o comprimento de onda onde a temperatura é máximo em μm ;

T é a temperatura em K, onde ocorre o máximo comprimento de onda.

2.4.6 Propriedades da radiação

Irradiação (G) é a radiação total incidente sobre uma superfície (por unidade de tempo e de área). Toda irradiação incidente sobre uma superfície, parte é Refletida (ρ), parte é Absorvida (α) e parte é Transmitida (τ), como mostrado na Equação 10 e na

Figura 2.8, de modo que a soma das partes representa 100% como mostrado na Equação 11:

$$G = G(\rho) + G(\alpha) + G(\tau) \quad (\text{eq. 10})$$

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (\text{eq. 11})$$

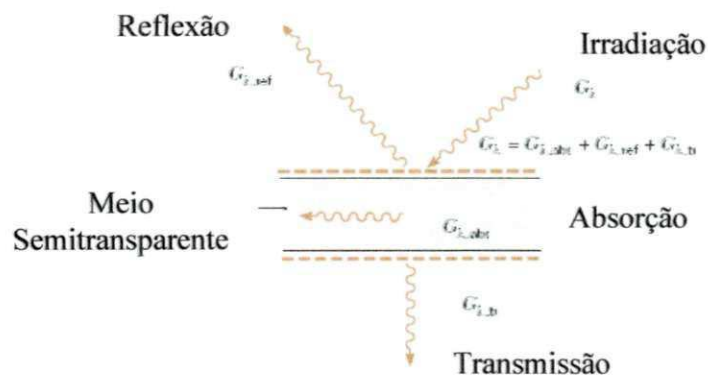
onde:

ρ é a refletividade;

α é a absorptividade;

τ é a transmissividade.

Figura 2.8. Processo de absorção, reflexão e transmissão em um meio semitransparente.



Fonte: Grilo (2007).

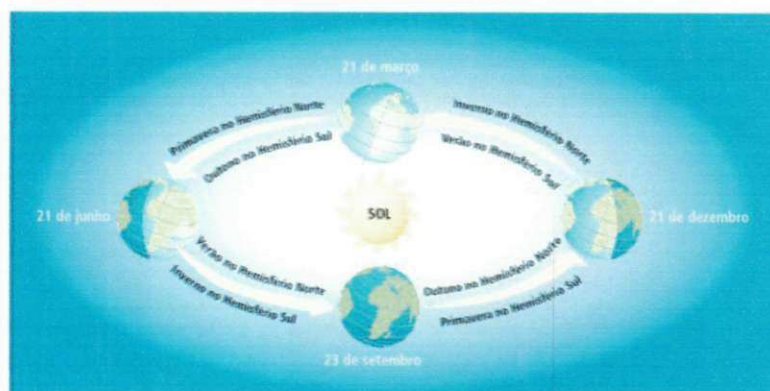
2.5 Movimento aparente do sol

Conforme Grilo (2007), para o aproveitamento da radiação solar em equipamentos posicionados sobre a superfície da Terra é necessário conhecer os movimentos relativos entre a Terra e o Sol e principalmente o movimento aparente do Sol.

De acordo com a CRESESB (2008), o planeta Terra, em seu movimento anual em torno do Sol, descreve em trajetória elíptica, um plano que é inclinado de aproximadamente $23,5^\circ$ com relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos

dias, dando origem às estações do ano e dificultando os cálculos da posição do Sol para uma determinada data, como é mostrado na Figura 2.9.

Figura 2.9. Órbita da Terra em torno do Sol.



Fonte: CRESESB (2008).

2.5.1 Dias de solstícios

Os dias de solstícios são os dias em que o movimento do sol, durante seu movimento aparente, atinge a maior declinação em latitude, medida a partir da linha do equador. Os solstícios podem ser visualizados no hemisfério sul, duas vezes no ano, em 21 de junho, dando início ao inverno e no dia 21 de dezembro, dando início ao verão.

2.5.2 Dias de equinócio

Nos dias de equinócio, o número de horas de sol durante o dia é igual ao número de horas sem sol. Geralmente, os dias de equinócio são no início do outono, 21 de março e da primavera, 23 de setembro.

2.5.3 Movimento de rotação da terra

A rotação da Terra é o movimento giratório que a Terra realiza ao redor do seu eixo, no sentido anti-horário, para um referencial observando o planeta do espaço sideral sobre o pólo Norte. A duração do dia - tempo que leva para girar 360 graus (uma

volta completa) é de 23 horas, 56 minutos, 4 segundos e 9 centésimos (23 h 56 min 4,09 s), em relação às estrelas fixas. Em relação ao sol, o tempo de rotação é de 24 h.

A terra gira de Oeste para Leste ($360^\circ/24$ horas = 15° por hora).

δ é a declinação solar da terra em relação a linha do equador.

$$-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$$

2.5.4 Equação de Cooper/declinação solar

A equação de Cooper é utilizada para calcular a declinação da terra em relação ao sol (δ) dada pela Equação 12:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[360 \left(\frac{284+n}{365} \right) \right] \quad (\text{eq. 12})$$

onde:

δ é a declinação solar;

n é o número de dias.

então,

$n = 1$ representa o dia 1º de janeiro;

$n = 33$ representa o dia 2 de fevereiro;

...

$n = 365$ representa o dia 31 de dezembro.

2.5.5 Coordenadas geográficas

As coordenadas geográficas, latitude e longitude são utilizadas para estabelecer a posição de um corpo sobre a superfície da terra. A latitude representa a posição relativa a Norte x Sul. A longitude representa a posição Leste x Oeste.

2.5.6 Número de horas de sol

Para calcular o número de horas de sol em uma determinada localidade na Terra, deve-se utilizar a Equação 13.

$$N = (2/15) \text{ arc cos } [-\text{tg}(\delta) \text{ tg}(\phi)] \quad (\text{eq. 13})$$

onde:

N é o número de horas de sol para a localidade;

δ é a declinação solar para o dia especificado;

ϕ é a latitude da localidade.

2.5.7 Zênite

O Zênite é um ponto imaginário e acontece quando a declinação é igual à latitude da localidade ($\delta = \phi$). Para um observador em uma localidade entre os trópicos, ou seja, entre $23,45^\circ$ e $-23,45^\circ$, o Zênite representa o dia em que não haverá projeção de sombras para o Norte nem para o Sul, e ao meio dia solar, não haverá qualquer tipo de sombra.

Na cidade de Campina Grande, onde foram realizados os testes experimentais, o zênite, geralmente, ocorre nos dias 05 de março e 08 de outubro de cada ano. Em Campina Grande, entre 08 de outubro e 05 de março (5 meses), as sombras se projetam para o Norte geográfico da cidade, enquanto no período entre 05 de março e 08 de outubro (7 meses), as sombras se projetam para o Sul geográfico.

2.6 Secagem

A desidratação é um dos mais antigos métodos de conservação de alimentos. Desde a antiguidade tem sido usada na preservação de carnes e peixes, com a retirada parcial da água desses produtos através da salga, seguido de secagem ao sol, além da secagem de cereais pela ação do sol e do vento. Com o passar dos anos, as técnicas dos

processos têm sido repassadas de geração para geração de pescadores, agricultores, caçadores, trabalhadores do campo, etc., através dos conhecimentos adquiridos de seus antepassados e, gradativamente melhorados, de forma empírica, ou seja, através de experimentos e observações práticas (Fioreze, 2004).

Basicamente, existem duas maneiras tradicionais de secagem de produtos agrícolas:

- A secagem feita na própria planta, portanto, um processo natural de secagem;
- A secagem da colheita em terreiro, a céu aberto.

Os dois casos apresentam problemas como a necessidade de grandes áreas para a construção dos terreiros. Muitas vezes, o produto fica exposto às condições climáticas adversas, o que favorece o desenvolvimento de fungos e o processo de fermentação, podendo depreciar a qualidade do produto. Apesar destes inconvenientes, esta prática de secagem é ainda muito empregada no Brasil. Estima-se em 80% o total da produção brasileira que utiliza este processo de secagem, principalmente na região Norte-Nordeste, por ser este o processo que requer menos investimento (Lima, 1999). Por outro lado, a falta de recursos financeiros dos agricultores brasileiros, principalmente aqueles situados no Nordeste, obriga-os a adotarem soluções simplistas acarretando graves prejuízos à economia do país, cujo futuro econômico depende primordialmente do crescimento da agricultura.

Secagem é a remoção, voluntária ou não, total ou parcial, de uma fase líquida ou gasosa de qualquer material, que envolve exclusivamente a transferência de calor e massa. Trata-se da prática pós-colheita mais comum para a redução de seu nível de umidade até o nível mais adequado, embora isso não signifique a remoção total de água do produto. A relação entre a temperatura do ar de secagem e a umidade do produto varia, principalmente, em função do destino do produto.

As especificações dos sistemas de secagem podem mudar quanto a sua capacidade, processo de operação, combustível utilizado, versatilidade e limites de vazão do fluxo de ar e temperatura dentro do secador.

O secador é o aparelho usado na redução da umidade dos produtos pela ação do calor. Existem vários tipos e modelos disponíveis; esses equipamentos de secagem

apresentam, em geral, custo elevado incompatível com o poder aquisitivo do pequeno produtor rural, inviabilizando processos de beneficiamento. Apesar destas tecnologias de secagem e de vários tipos de secadores à disposição dos agricultores, a secagem em terreiros ainda é muito utilizada no Brasil, principalmente nas zonas agrícolas onde se concentram as cooperativas e a agricultura familiar (Lima *et al.*, 2000).

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

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

A secagem ao ar livre, mostrado na Figura 2.10, apesar de não necessitar de alto investimento inicial, tem o inconveniente de se realizar em um longo período de tempo e o teor de umidade final, dificilmente, alcança índices abaixo da umidade de equilíbrio do ambiente em que se realiza o processo (Stangerlin, 2009).

Figura 2.10. Secagem de mamona em terreiro.

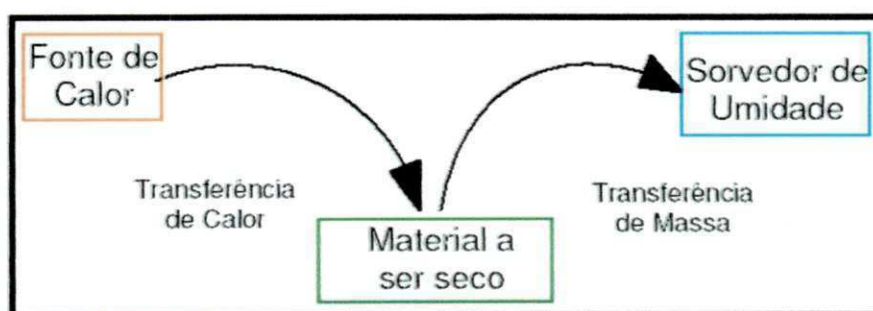


Fonte: Autor deste trabalho.

Existem diversos métodos para secagem de alimentos. O método de escolha depende do tipo de alimento a ser secado, do nível de qualidade que se deseja obter e de um custo que possa ser justificado (Licumba, 2009).

Lima (1999) ressalta que quando um sólido é submetido à secagem, observam-se dois fenômenos que ocorrem simultaneamente. O primeiro é a transferência de calor do ambiente para evaporar a umidade superficial, que depende da área exposta do sólido, da pressão, da umidade e direção do ar, do fluxo e da temperatura; o segundo é a transferência de massa do interior para a superfície do material e, em seguida, sua evaporação. A umidade do material depende da temperatura, do conteúdo de umidade e da natureza física do sólido, como é mostrado na Figura 2.11.

Figura 2.11. Diagrama representativo do processo de secagem.



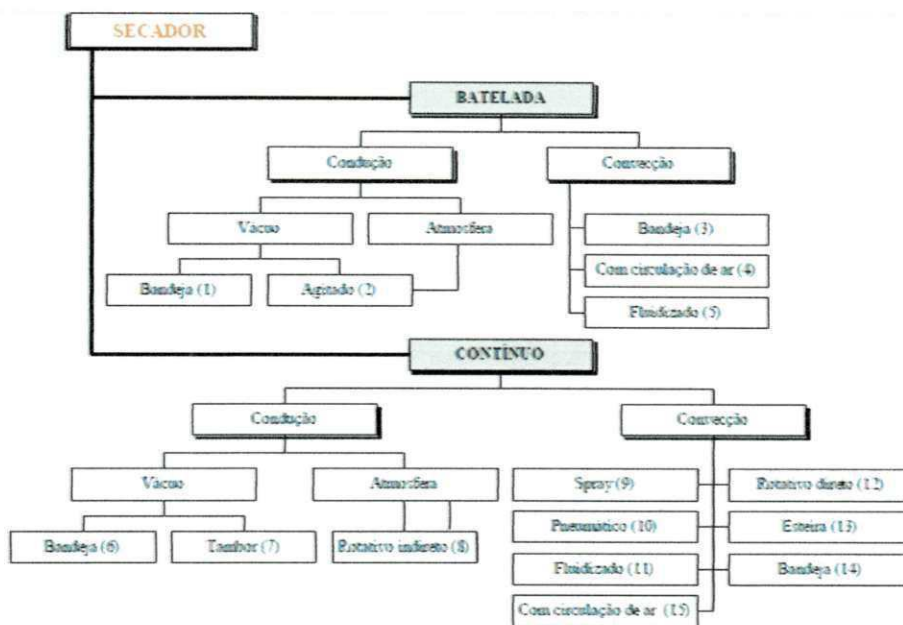
2.6.1 Tipos de secadores

Uma das maiores dificuldades na seleção de secadores é a grande variedade de equipamentos e processos de secagem para se obter um produto de qualidade. Muitos métodos são apresentados na literatura, os baseados em conceitos fenomenológicos e os que dizem respeito aos aspectos de custo (Machado, 2009).

O secador solar se apresenta como uma boa opção para desidratação de produtos agrícolas de um modo geral, especialmente para alguns legumes e frutas em condições de higiene e limpeza, com padrões nacionais e internacionais, economizando energia, tempo e ocupando menos espaço, melhorando a qualidade do produto, tornando o processo mais eficiente e protegendo o meio ambiente (Grilo, 2007).

Segundo Park *et al.* (2007B), os secadores podem ser classificados com base no método de operação, conforme está mostrado na Figura 2.12.

Figura 2.12. Fluxograma mostrando a classificação dos secadores.



Fonte: Park *et al.* (2007B).

É nesse contexto de aproveitamento eficiente dos recursos energéticos, privilegiando o uso de fontes renováveis de energia e com a preocupação de desenvolver uma tecnologia que seja apropriada para ser utilizada pela agricultura familiar que ocorre a escolha pelo sistema de secagem solar, desenvolvendo um secador solar que seja fácil de construir e operar, tenha baixo custo de fabricação e manutenção e que tenha elevada eficiência energética.

2.7 Estado da arte sobre secador solar no Brasil

2.7.1 Secador solar com exposição direta

O secador solar individual é um equipamento simples, de fácil construção, operação e manutenção. É composto basicamente de três elementos: o corpo, que é uma caixa retangular construída de madeira; a bandeja, onde o produto agrícola é colocado para secar; e a cobertura do secador, que lhe dá a característica de estufa (Grilo, 2007).

Lima *et al.* (2006) desenvolveram um secador solar para frutas, ervas e hortaliças. Esse secador foi construído com cobertura de vidro, bloco de madeira, grampo para madeira, parafusos, barra rosqueada, porcas e arruelas, dobradiças, tela plástica, tela de arame com orifícios pequenos, cola de carpinteiro, selador para madeira, tinta branca, tinta preta e solvente. O protótipo do secador solar construído na USP em Piracicaba é mostrado na Figura 2.13.

Figura 2.13. Secador solar desenvolvido na USP.



Fonte: Lima *et al.* (2006).

Um exemplo de secador solar de exposição direta foi desenvolvido por Anunciação (2007), na cidade do Natal-RN, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. O protótipo construído e testado é mostrado na Figura 2.14. Foi utilizado para desintoxicar torta de mamona. Parte dos testes foram realizados nas dependências do Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, em Salvador (CEFET-BA). O secador de exposição direta se mostrou eficiente para o processo de desintoxicação da torta de mamona.

Figura 2.14. Secador solar de exposição direta desenvolvido na UFRN.



Fonte: Anunciação (2007).

Anunciação (2007) relata ainda a construção de um secador solar com concentração, que foi montado em uma estrutura tubular. A superfície apresenta a forma de uma parabolóide, sendo composto por vários pedaços de retângulos de espelhos, constituindo a superfície que reflete a radiação solar. Foram utilizados concentradores com as dimensões de 1 m^2 e 2 m^2 de área de abertura montados na Universidade Federal do Rio Grande do Norte e mostrado na Figura 2.15. Comparando os resultados obtidos com os dois tipos de secadores, o autor relata que o secador com concentração apresentou melhor resultado quanto ao processo de secagem.

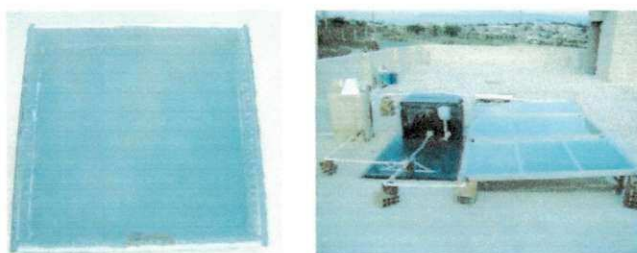
Figura 2.15. Secador solar com concentração desenvolvido na UFRN.



Fonte: Anunciação, (2007).

Dantas (2007) relatou a construção de um secador solar elaborado em chapa zincada, revestido internamente com isopor pintado na cor preta, tendo por cobertura um vidro plano com espessura de 4,0 mm. O secador solar, com formato quadrado, tem 710 mm de lado e profundidade de 90 mm, sendo utilizado para secar amêndoas de jaca. O protótipo do equipamento desenvolvido é mostrado na Figura 2.16. A secagem utilizando o secador solar apresentou desempenho semelhante ao da secagem artificial em temperaturas variáveis de 40° a 70°C .

Figura 2.16. Secador solar desenvolvido na UFCG.



Fonte: Dantas (2007).

Machado (2009) desenvolveu um secador solar de radiação direta no Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte para secar pedúnculo do caju. Foi fixado sobre um suporte de metalon do tipo cavalete, com um ângulo de inclinação em relação ao Norte de aproximadamente 15°, para favorecer a incidência da radiação solar. O protótipo do equipamento desenvolvido é mostrado na Figura 2.17.

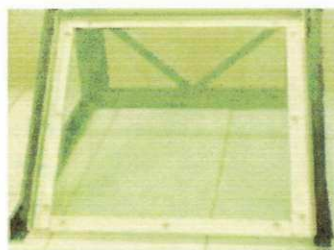
Figura 2.17. Secador solar de radiação direta desenvolvido na UFRN.



Fonte: Machado (2009).

Machado (2009) também desenvolveu um secador solar do tipo tabuleiro. Esse secador consiste de uma bandeja retangular, de dimensões 400 mm por 500 mm, com a parte inferior de nylon. Este sistema de secagem foi exposto diretamente ao sol numa bandeja aberta suspensa sobre um cavalete com inclinação de 15°. O protótipo do equipamento é mostrado na Figura 2.18.

Figura 2.18. Secador solar do tipo tabuleiro desenvolvido da UFRN.



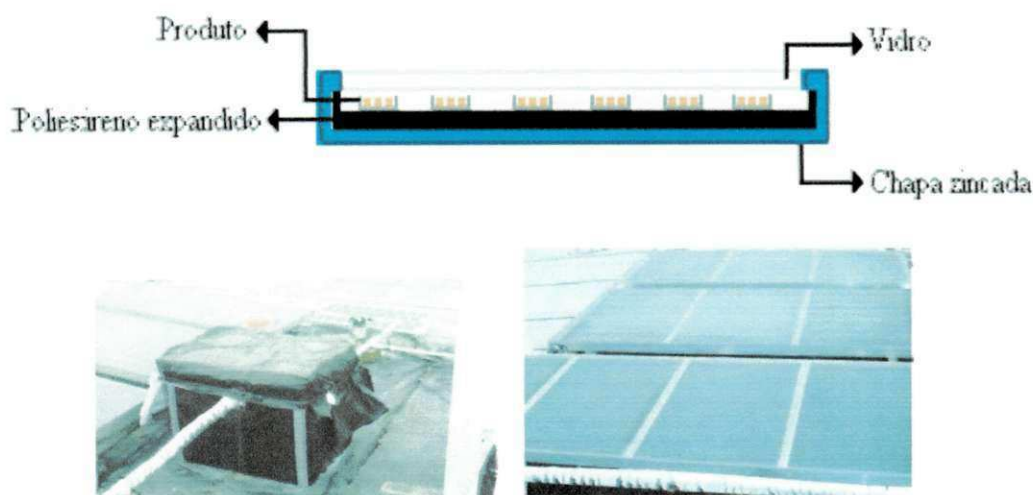
Fonte: Machado (2009).

Segundo Machado (2009), após realização de testes experimentais com os secadores solares, é possível afirmar que entre os secadores solares de convecção

natural de ar, o secador solar de radiação direta se mostrou mais eficiente que os outros. Já comparando todos os secadores, o secador solar de radiação indireta, com fluxo forçado de ar, apresentou vantagens significativas na redução do tempo de secagem em relação aos sistemas com fluxo natural.

Diógenes (2010) relata a secagem de abóbora na cidade de Campina Grande, PB. Para realização dessa secagem, foi utilizado, durante o dia, um secador solar em chapa zincada, revestido internamente com isopor pintado na cor preta, tendo por cobertura um vidro plano com 4,0 mm de espessura. O secador, com formato quadrado, tem 710 mm de lado e 90 mm de profundidade. Uma representação esquemática do equipamento desenvolvido, o coletor solar e o reservatório térmico que foram utilizados durante a noite são mostrados na Figura 2.19. Esse secador teve desempenho semelhante aos da secagem a 40°C, e entre 40°C e 50°C em estufa.

Figura 2.19. Representação esquemática, coletor solar e o reservatório térmico.



Fonte: Diógenes (2010).

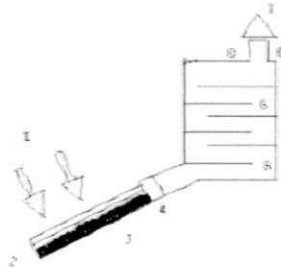
2.7.2 Secador solar com câmara de secagem

Neste secador, o produto não está diretamente exposto à radiação solar, o que minimiza a descoloração e rachaduras na superfície. A câmara de secagem é utilizada para manter o produto na bandeja. Neste secador, a radiação solar não é diretamente

incidente sobre o material a ser seco. O ar é aquecido em um coletor solar e, em seguida, conduzido para uma câmara de secagem onde se encontra o produto à ser desidratado (Grilo, 2007).

Amalfi (2005) desenvolveu um secador solar com câmara de secagem mostrado na Figura 2.20. Esse secador solar possui: 1- cobertura de vidro onde incidem os raios solares, 2- entrada de ar frio, 3- coletor solar, 4- acoplamento do secador a câmara de secagem, 6- bandeja do secador, 7- chaminé e 8- saída do ar quente. O equipamento foi utilizado na desidratação de produtos agrícolas e apresentou boa eficiência.

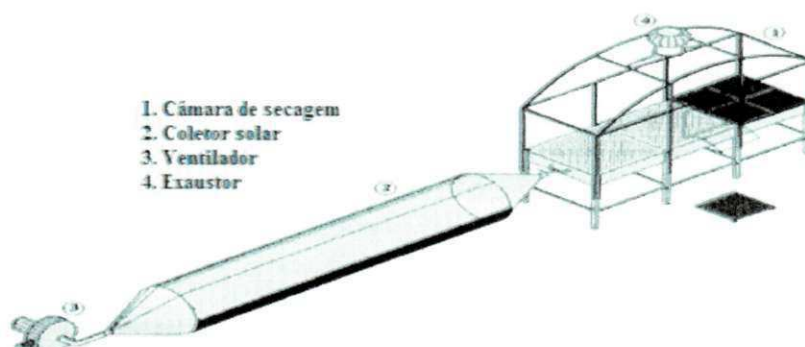
Figura 2.20. Esquema básico de um secador solar com câmara de secagem.



Fonte: Amalfi (2005).

Costa (2008) construiu um secador solar com câmara de secagem. O coletor solar e a câmara de secagem são construídos separadamente e, depois, os dois são acoplados. Na câmara de secagem construída, os frutos a serem processados ficam submetidos a uma corrente de ar aquecido pelo coletor e à radiação solar direta sobre os mesmos até atingirem o teor de umidade selecionado. Foram feitas modelagens matemáticas simplificadas da secagem de bananas, baseadas nas 2ª Leis de Fick e de Fourier, as quais foram testadas com dados experimentais. Na Figura 2.21 é mostrada uma representação esquemática do sistema desenvolvido.

Figura 2.21. Sistema projetado para a secagem usando energia solar.



Fonte: Costa (2008).

Machado (2009) desenvolveu um secador solar de radiação indireta, onde o fluxo de ar que passa pelo sistema é auxiliado por um exaustor eólico. Fotos do protótipo testado são mostrados na Figura 2.22. Esse secador solar se mostrou mais eficiente do que os demais sistemas que foram desenvolvidos.

Figura 2.22. Secador solar de radiação indireta.



Fonte: Machado (2009).

Machado (2009) transformou o secador solar de radiação indireta com convecção natural em um secador com convecção forçada acrescentando um exaustor eólico para promover um fluxo de ar forçado. O exaustor opera com motor monofásico de 0,25 CV, vazão do ar de até 7,5 m³/min, pressão máxima de 9 mm coluna H₂O. Durante o funcionamento, é possível restringir o fluxo de ar que atravessa a câmara de secagem por meio de uma válvula tipo gaveta, mostrada no esquema representativo da Figura 2.23. Esse secador apresentou vantagens significativas na redução de tempo de secagem em relação aos sistemas com fluxo natural.

Figura 2.23. Sistema projetado do secador solar de radiação indireta com convecção forçada.



Fonte: Machado (2009).

Nas Figuras 2.24 e 2.25 são mostradas fotos de dois protótipos de sistemas de secagem solar com uso de câmara de secagem desenvolvidos respectivamente na Universidade Federal do Pará (UFPA) e Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Não foi possível obter maiores detalhes construtivos e de funcionamento, mas ilustram modelos de sistemas de secagem que vêm sendo desenvolvidos em todo Brasil, com destaques para as regiões Norte e Nordeste, que contam com maior disponibilidade do recurso solar.

Figura 2.24. Sistema de secagem da UFPA.



Fonte: Autor deste trabalho.

Figura 2.25. Sistema de secagem da UFS.

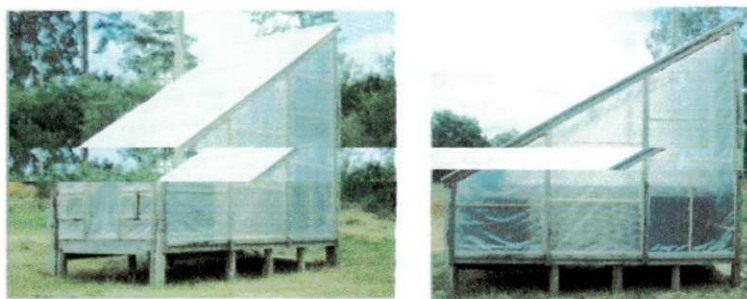


Fonte: Autor deste trabalho.

2.7.3 Estufa solar

Stangerlin (2009) desenvolveu um secador solar do tipo “greenhouse”, o qual foi instalado em um local bem drenado e livre de obstáculos no pátio do LPF-UFSM, com capacidade para 1 m³ de madeira serrada. Em alguns testes realizados com *Eucalyptus tereticornis*, a secagem na estufa solar em 35 dias diminuiu o teor de umidade da madeira de 82,13% para 15,24%, ocorrendo uma redução de 66,89%. Já com a secagem em terreiro, essa mesma madeira em 104 dias, teve uma redução em sua umidade de 73,58% para 20,30%, ocorrendo uma diminuição de 53,28%. Uma foto do protótipo dessa estufa solar ou secador solar do tipo “greenhouse” pode ser visualizada na Figura 2.26.

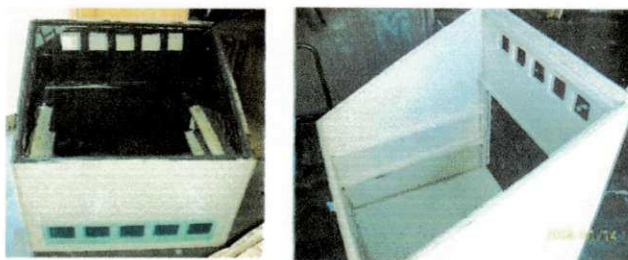
Figura 2.26. Estufa solar desenvolvida em Santa Maria – RS.



Fonte: Stangerlin (2009).

Licumba (2009) projetou uma estufa solar para secagem de frutas, cujo protótipo é mostrado na Figura 2.27. Os testes foram realizados com massanica e com os resultados obtidos, pode-se chegar à conclusão de que há uma necessidade de aumentar as dimensões dos orifícios pra melhorar a substituição do ar úmido interno pelo ar externo. Esta substituição é lenta em dias de vento calmo, sendo mais rápida quanto maior for a velocidade do vento e a área de abertura para ventilação. A dimensão dos orifícios de saída da estufa afeta significativamente os valores da umidade do ar.

Figura 2.27. Estufa para secagem de frutas.



Fonte: Licumba (2009).

Capítulo III
Materiais e Métodos

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização dos testes

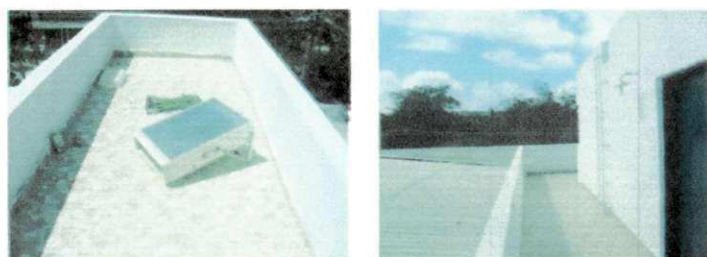
As atividades foram realizadas no Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT), da Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica (UAEM), do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em Campina Grande-PB, mostrado na Figura 3.1. O laboratório possui dois *solarium*, que são mostrados na Figura 3.2. Os dados geográficos e meteorológicos de Campina Grande estão na Tabela Ia no Anexo I.

Figura 3.1. Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas - UFCG.



Fonte: Autor deste trabalho.

Figura 3.2. Solarium do Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas - UFCG.



Fonte: Autor deste trabalho.

Foram realizados diversos testes experimentais. Dentre os resultados obtidos, foram escolhidos quatro experimentos, relatados como E1, E2, E3, E4 que foram realizados nos dias:

- ✓ (E1) no dia 01 e 02 de outubro de 2011;
- ✓ (E2) no dia 08 e 09 de outubro de 2011;
- ✓ (E3) no dia 31 de outubro e 01 de novembro de 2011;
- ✓ (E4) no dia 18 e 19 de abril de 2012.

Os dados meteorológicos dos respectivos dias de testes podem ser visualizados nas Tabelas IIa, IIb e IIc, no Anexo II.

3.2 Características da mamona

A mamona utilizada nos testes experimentais foi obtida na cidade de Itabaiana, Estado da Paraíba, distante 70 km da cidade de Campina Grande-PB. A mamona foi colhida em torno de 5 h da manhã nos respectivos dias de testes, numa localidade às margens do rio Paraíba. Na Figura 3.3 são mostrados fotos de alguns arbustos de mamona (mamoneira) do local onde foram obtidos os produtos para os testes.

Figura 3.3. Arbusto de mamona no local onde foram colhidas.



Fonte: Autor deste trabalho.

O procedimento para determinação do teor de umidade de massa seca consistiu na secagem prévia da mamona no secador, com duração de 24 horas, seguida por uma secagem na estufa, essa secagem teve duração de 48 horas, onde foram utilizadas duas amostras da mamona retirado do secador. O teor de umidade do produto pode ser definido em termos de base seca (bs) ou úmida (bu) como mostrado nas Equações 14 e 15.

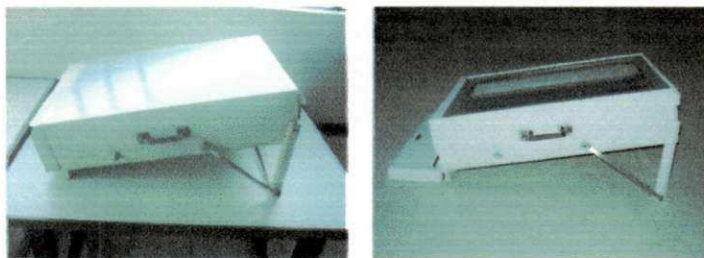
$$M_{bs} = \frac{\text{massa da água}}{\text{massa da matéria seca}} = \frac{W_a}{W_s} \quad (\text{eq. 14})$$

$$M_{bu} = \frac{\text{massa da água}}{\text{massa do produto}} = \frac{W_a}{W_u} \quad (\text{eq. 15})$$

3.3 Secador solar

O secador solar utilizado nos testes experimentais foi desenvolvido na UFCG, na Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica (UAEM). Este equipamento foi originalmente desenvolvido para ser utilizado na secagem de produtos agrícolas, principalmente da banana, e recebeu algumas modificações e adaptações para ser utilizado na desidratação de oleaginosas usadas na produção de biodiesel, no caso a mamona, e sua configuração atual é mostrada na Figura 3.4.

Figura 3.4. Secador solar utilizado nos testes experimentais.



Fonte: Autor deste trabalho.

3.3.1 Características construtivas

Principais características construtivas do protótipo testado, que foi usado inicialmente na secagem de banana pacovan para produzir banana-passa e que já recebeu várias modificações, visando a melhoria de sua eficiência térmica e sua facilidade operacional e construtiva, são listradas a seguir:

- ✓ Pintura exterior: branco gelo; pintura interior: alumínio; marca da tinta utilizada: tinta coralar;
- ✓ Base com bloco de compensado naval de 10 mm e fundo de 6 mm, tendo largura x comprimento x altura (460 x 700 x 200) mm. Todos os blocos são aparelhados antes de serem pintados;

- ✓ Cobertura utilizada inicialmente foi de vidro de 4 mm, tendo largura x comprimento (440 x 660) mm, com cantoneira de $\frac{3}{4}$ " x $\frac{1}{16}$ ". Foi utilizado silicone para vedação e fixação do vidro na cantoneira, para fixação da cantoneira no bloco foi utilizado parafusos. Atualmente, a cobertura usada é de policarbonato, que é fixado na parte superior com fita adesiva, marca 3M, largura de 10 mm.
- ✓ Inicialmente, foi utilizada bandeja de madeira maciça aparelhada e pintada com tinta coralar branca, tendo largura x comprimento de 380 x 600 mm, com tela de nylon média. Atualmente, é usada bandeja de aço inox.
- ✓ Na entrada de ar frio, foi utilizada madeira maciça, pintada de cor verde folha, marca Coralar, com largura x altura de 430 x 40 mm com tela de nylon fina e com porta de fechamento noturno, também feita de madeira e pintada de verde folha da marca Coralar;
- ✓ Na saída de ar úmido foi utilizada madeira maciça, pintada na cor vermelho, marca Coralar, com largura x altura de 430 x 50 mm com tela de nylon fina e com porta de fechamento noturno, também feita de madeira e pintada de vermelho, da marca coralar;
- ✓ A porta de acesso ao interior do secador solar a as bandejas são travadas com imã magnético;
- ✓ Foi utilizado um pegador padrão, tipo alça, fabricado em alumínio de 5" fixado com 4 parafusos;

A Figura 3.5 mostra fotos de diversas etapas do processo de construção do protótipo desenvolvido na UFCG, incluindo a construção e posicionamento das bandejas de nylon e os detalhes para manter a inclinação do secador com 17°.

Figura 3.5. Etapas da construção do secador solar.





Fonte: Autor deste trabalho.

3.3.2 Modificações realizadas

Substituição da cobertura de vidro pelo policarbonato, ambos com espessura de 4 mm e largura x comprimento de 440 x 660 mm. Segundo Grilo (2007), o policarbonato tem comportamento semelhante ao do vidro em relação às propriedades da radiação solar (elevada transmissividade na faixa espectral de 0,1 a 2,5 μm , baixa absorvidade e refletividade na faixa espectral acima de 4,0 μm), porém mais resistente ao impacto; boa estabilidade dimensional e comparativamente de menor custo que o vidro. Na Figura 3.6 são mostradas fotos de um secador solar da UFCG, em teste no solarium do LEMT, usando policarbonato.

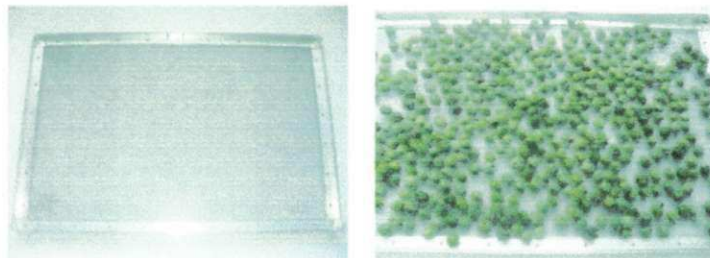
Figura 3.6. Policarbonato utilizado no secador solar.



Fonte: Autor deste trabalho.

Substituição da bandeja de madeira com tela de nylon por outra de cantoneira de alumínio de 1” por 1/8”, com tela de aço inoxidável fixada por rebites. A bandeja foi substituída por apresentar maior resistência quando utilizada na secagem da mamona. Na Figura 3.7 é mostrada a bandeja utilizada.

Figura 3.7. Bandeja de aço inox com cantoneira utilizada no secador solar.



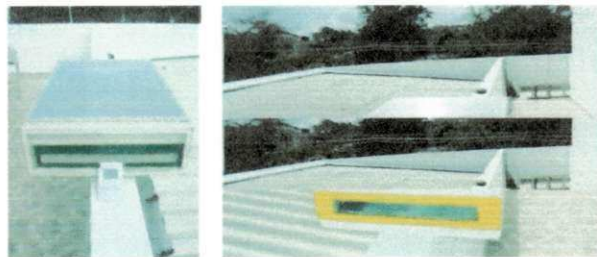
Fonte: Anderson Melchiades

3.3.3 Características do secador

3.3.3.1 Entrada de ar

Comparativamente com o ar quente, o ar frio é mais denso. Assim, para facilitar sua entrada no secador solar, sua abertura é localizada na parte inferior do secador, sendo posicionado embaixo da bandeja, como mostrado na Figura 3.8. Geralmente, a entrada de ar é pintada de verde ou amarela.

Figura 3.8. Entrada de ar.

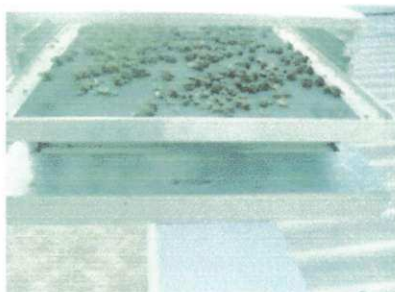


Fonte: Autor deste trabalho.

3.3.3.2 Bandeja

A bandeja é posicionada no interior do secador solar. Sua altura deve estar acima da posição da entrada de ar e abaixo da posição da saída do ar, para que o ar, que passa pelo secador, desloque-se efetivamente por dentro da bandeja, como mostrado na Figura 3.9.

Figura 3.9. Bandeja.

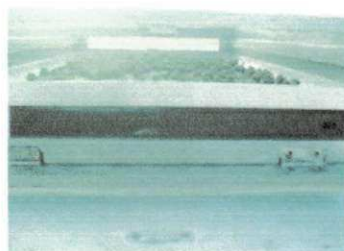


Fonte: Autor deste trabalho.

3.3.3.3 Placa absorvedora

A placa absorvedora deve ser de um material que tenha boa resistência mecânica e apresente elevada capacidade de absorver e transmitir energia térmica na forma de calor. Geralmente, é pintada de tinta preto fosca, para atender às características térmicas envolvidas no processo de transferência de calor e massa. A Figura 3.10 mostra a placa absorvedora utilizada.

Figura 3.10. Placa absorvedora.



Fonte: Autor deste trabalho.

3.3.3.4 Saída de ar

A saída de ar é posicionada na parte traseira do secador solar, geralmente pintado de vermelho, como mostrado na Figura 3.11. Neste secador, o fluxo de ar através do secador solar ocorre devido ao efeito termossifão, ou seja, a diferença de densidade entre o ar aquecido que sai e o ar frio que entra é responsável pela movimentação do mesmo, sem a necessidade de um sistema de bombeamento complementar do ar. Para reduzir a ação da reumidificação noturna é utilizada uma tampa que fecha a saída do ar do interior do secador durante o período noturno entre um dia e outro do processo de secagem. A saída de ar é pintada de vermelho.

Figura 3.11. Saída de ar.



Fonte: Autor deste trabalho.

3.3.3.5 Cobertura

A cobertura do secador solar é fundamental para que ocorra a transmissão da radiação solar incidente para o interior do equipamento e, para que ocorra uma resistência à saída da radiação solar, que adentrou o interior, promovendo uma ação equivalente ao do efeito estufa, que garante o aquecimento no interior do secador solar.

Geralmente o vidro plano de 4 mm é o material mais utilizado. Neste protótipo testado, foi utilizado uma cobertura de policarbonato plano, de 4 mm em substituição ao vidro.

O policarbonato vem sendo testado há mais de quatro anos em diversos protótipos, construídos na UFCG e tem apresentado características semelhantes a do vidro em relação as propriedades de transmissividade, refletividade e absorvidade da radiação solar incidentes, com a vantagem de ter menor custo de investimento, é mais leve e altamente resistente as intempéries. Na Figura 3.12 é mostrado foto do protótipo testado usando cobertura de policarbonato.

Figura 3.12. Cobertura de policarbonato transparente de 4 mm.



Fonte: Autor deste trabalho.

3.3.3.6 Inclinação

Segundo Grilo (2007), para uma melhor incidência de radiação solar sobre o secador, recomenda-se utilizar como inclinação do equipamento o valor da latitude do local mais 10° ou 15° . Como pode ser observado na Figura 3.13, foi utilizada uma inclinação de 17° (7° referente a latitude da cidade de Campina Grande + 10°), posicionado para Norte geográfico, pois o Brasil está situado no hemisfério Sul, sendo esta uma inclinação mais apropriada para o período de inverno, quando a intensidade da radiação solar direta é menor na cidade.

Figura 3.13. Inclinação do coletor solar.



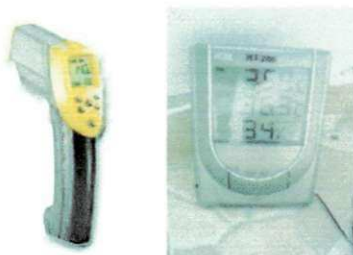
Fonte: Autor deste trabalho.

3.4 Instrumentos de medição utilizados

3.4.1 Termopares e balanças

Para medir a temperatura ambiente e a temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador solar foram utilizadas o termohigrômetro tipo HD 208 e um termômetro a laser da marca Raytek, mostrado na Figura 3.14.

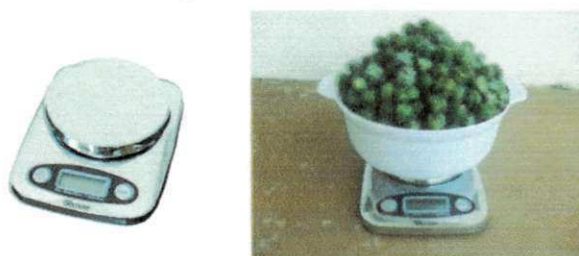
Figura 3.14. Instrumentos para medir temperatura.



Fonte: Autor deste trabalho.

Para medir a perda de massa na mamona durante os ensaios experimentais foi utilizada uma balança digital do tipo KC-01, da marca Western, com capacidade máxima de 5.000 gramas, mostrado na Figura 3.15. Para segurar a mamona em cima da balança foi utilizado um recipiente com massa de 212 gramas, que foi utilizada como tara da balança.

Figura 3.15. Balança.



Fonte: Autor deste trabalho.

3.5 Metodologia

A metodologia utilizada foi desenvolvida com o objetivo de obter experimentalmente as curvas de secagem da mamona no secador e no terreiro, como

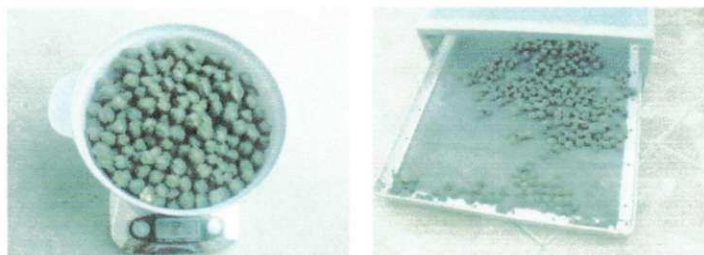
também os valores experimentais de temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do protótipo do secador solar.

A partir dos resultados obtidos, foram comparadas as curvas de secagem no secador e em terreiro para prever as vantagens e desvantagens de cada processo. Os valores de temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do equipamento foram utilizados para observar o ganho energético do equipamento desenvolvido.

3.5.1 Medida da variação de massa da mamona no secador solar

A mamona utilizada nos testes experimentais tem um tempo máximo de 24 horas entre a colheita e o início do experimento. É realizada uma medida da massa inicial, 1.000 g, seguindo-se o posicionamento da carga de mamona no protótipo, como mostrado na Figura 3.16.

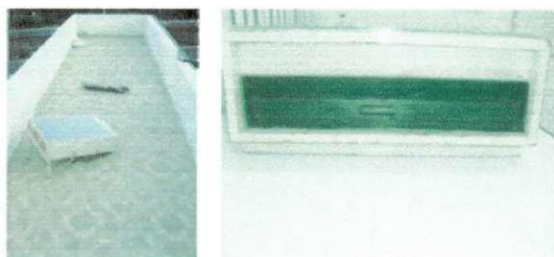
Figura 3.16. Pesagem da mamona.



Fonte: Autor deste trabalho.

O secador é instalado de maneira adequada, com a inclinação voltada para o Norte geográfico (Figura 3.17). Cada experimento tem duração de dois dias, sendo iniciado às 8:00 h e encerrado às 17:00 h de cada dia. A cada hora a massa de mamona é medida e anotada em uma tabela, cujos valores constam nos apêndices. No intervalo entre 17:00 h e 8:00 h (período noturno), os orifícios de entrada e saída do ar ambiente no secador solar são fechados, como já relatado, para reduzir o processo de reidratação. No segundo dia, o procedimento é repetido, encerrando-se o experimento às 17:00 h.

Figura 3.17. Inclinação otimizada e vedação noturna do secador solar.

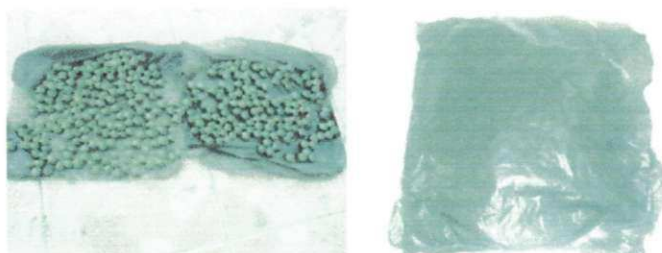


Fonte: Autor deste trabalho.

3.5.2 Medida da variação de massa da mamona no terreiro

O procedimento e os cuidados iniciais com a mamona utilizada e com o sistema de medição inicial e durante o processo são equivalentes ao da mamona testada no secador solar. A diferença é que a carga de mamona é posicionada sobre uma lona e deixada exposta ao ambiente natural, como mostrado na Figura 3.18. No período noturno, a mamona é enrolada, voltando a ser aberta às 8:00 horas do dia seguinte.

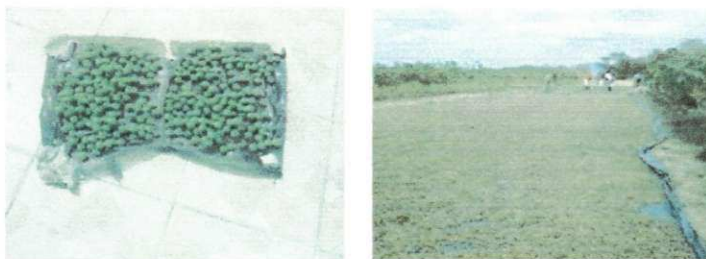
Figura 3.18. Mamona no terreiro.



Fonte: Autor deste trabalho.

A utilização deste procedimento é para torná-lo o mais próximo da realidade do que é feito na agricultura familiar como mostrado na Figura 3.19. Os dados obtidos com esses testes experimentais são anotados em uma tabela, mostrada nos apêndices.

Figura 3.19. Mamona enrolada no plástico.



Fonte: Autor deste trabalho.

3.5.3 Determinação da temperatura do ar no secador solar

Para determinação da temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador solar, são posicionados termopares em cada posição estratégica, mostrado na Figura 3.20. Os valores obtidos são anotados a intervalos de uma hora entre às 8:00 h e 17:00 h de cada dia. Os valores são anotados em tabelas mostradas no apêndice D. Durante esse procedimento também foram anotadas as temperaturas do ambiente.

Figura 3.20. Determinação da temperatura ambiente e do ar no secador solar.



Fonte: Autor deste trabalho.

Capítulo IV
Resultados e Discussões

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e a discussão dos testes experimentais realizados nos dias 01 e 02 de outubro de 2011 (Experimento 1 - E1), dias 08 e 09 de outubro de 2011 (Experimento 2 – E2), dias 31 de outubro e 01 de novembro de 2011 (Experimento 3 – E3), dias 18 e 19 de abril de 2012 (Experimento 4 – E4).

Em cada experimento foram medidas as seguintes propriedades:

- (a) variação de massa da mamona no secador solar;
- (b) variação de massa da mamona no terreiro;
- (c) temperatura do ar na entrada do secador solar
- (d) temperatura do ar no interior do secador solar;
- (e) temperatura do ar na saída do secador solar;
- (f) temperatura do ambiente.

A caracterização da mamona utilizada nos testes experimentais é apresentada na Tabela 4.1. Os dados mostrados foram obtidos no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), localizado na cidade de João Pessoa, Paraíba, em 30/07/2012 utilizando a metodologia; métodos físico-químicos para análises de alimentos – Instituto Adolfo Lutz, edição IV, 2005. Bligh & Dyer, 1959, cópia do laudo da UFPB é mostrado no anexo III.

Dois parâmetros são fundamentais na secagem de qualquer produto agrícola: a massa de água inicial e a massa de água final no produto, ou seja, os teores de umidade inicial e final. Os valores obtidos para teor de umidade da mamona em base úmida, nas amostras de mamona testadas na UFCG nos experimentos E1, E2, E3, E4 foram de 81% que estão muito próximos dos valores referidos na análise físico-química realizada na UFPB.

Tabela 4.1. Dados característicos da mamona utilizada nos testes experimentais.

Análise	Resultado 1	Resultado 2	Resultado 3	Média
Umidade (%)	80,10	81,16	81,47	80,91
Minerais Totais (%)	1,00	0,94	1,02	0,99
Proteínas Totais (%)	2,69	2,77	2,71	2,72
Gorduras Totais (%)	4,52	4,17	4,25	4,31
Carboidratos (%)	11,69	10,96	10,55	11,07
Energia (kcal/100 g)	98,20	92,45	91,29	93,98
pH	6,21	6,21	6,21	6,21
Acidez Total Tit. (%)	0,19	0,25	0,20	0,21
Sódio (mg/100 g)	39,30	39,55	39,61	39,49
Cálcio (mg/100 g)	145,00	147,13	145,18	145,77

Fonte. Laboratório de Tecnologia de Alimentos/CT/UFPB. Laudo 217/2012

4.1 Experimento 1 - Curvas de secagem e dados de temperatura

Os resultados obtidos experimentalmente para a massa da mamona durante a secagem no secador solar e no terreiro, temperatura ambiente e temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador solar nos dias 01 e 02 de outubro de 2011 estão contidos nas Tabelas A1 e A2 do Apêndice A, com representação gráfica dos valores nas Figuras 4.1 e 4.2.

Figura 4.1. Variação de massa de mamona em E1.



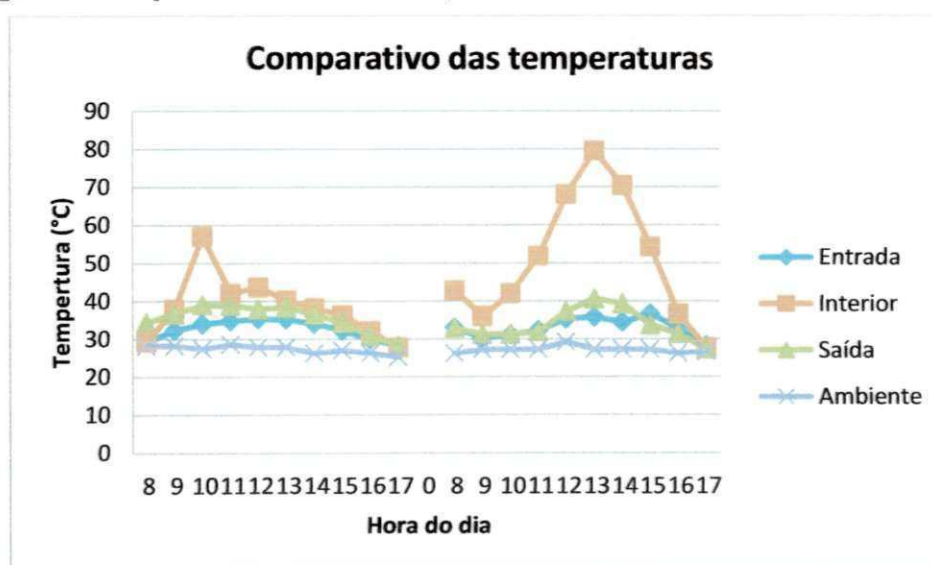
Neste experimento é possível observar que a massa final de mamona no processo com secador solar foi de 280 g, enquanto a massa final de mamona no processo natural foi de 419 g. Em relação a massa inicial, ocorreu uma redução na massa de mamona no secador solar de 72%, ou seja, considerando que a massa dissipada para o ambiente seja de água ($1.000\text{ g} - 280\text{ g} = 720\text{ g}$), 720 g de água foram retiradas da mamona.

No mesmo experimento, ou seja, com a mesma quantidade inicial de mamona, originária da mesma região de produção e colhida na mesma localidade e no mesmo dia, a redução de água no processo em sistema aberto (terreiro) foi de 581 g (58,1%). Isto mostra que comparativamente, a secagem utilizando secador solar apresenta uma eficiência de 23,9% a mais em relação a remoção de umidade ($720/581$). Além dessa vantagem decorrente da maior perda de massa quando é utilizado o equipamento, devem ser consideradas também as vantagens complementares referentes a qualidade do produto final, principalmente quanto à limpeza, já que a mamona no interior do secador solar esteve protegida contra animais, poeira e da ação das intempéries.

Em ambos os casos não ocorreu o fenômeno da reidratação noturna. No final das medições no primeiro dia do experimento, a massa de mamona no secador foi de 493 g e, no dia seguinte, a primeira pesagem indicou 461 g, ou seja, ocorreu uma

pequena desidratação noturna equivalente a 32 g. Essa perda de massa pode ser atribuída a dois fatores: primeiro, as características biológicas do fruto da mamoneira que apresenta uma película resistente a reidratação (diferentemente do produto agrícola banana que geralmente apresenta reidratação noturna quando é utilizado secador solar para transformar a banana *in natura* em banana-passa). Outro fator pode ser creditado às condições climáticas desta época do ano, em que a umidade relativa estava muito reduzida pela ausência de chuvas na região e o céu se apresentava totalmente sem nuvens.

Figura 4.2. Temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador solar em E1.



É possível observar que a temperatura no interior do secador se mostrou sempre superior a temperatura do ar na entrada do secador solar durante todo o processo de secagem. A temperatura do ar na entrada do secador solar é ligeiramente superior a temperatura do ambiente. Esse ganho mostra que o equipamento testado cumpre com sua função que é a de obter temperaturas no interior do equipamento maiores do que a temperatura do meio ambiente no seu entorno.

No interior do secador solar foi possível observar picos de temperatura de 57,0°C, às 10:00 h no primeiro dia do ensaio e de 79,5°C, às 13:00 h no segundo dia do ensaio. Isso está associado às condições climáticas, que variam muito ao longo do dia, sendo uma característica da intensidade da radiação solar que varia muito em função das condições meteorológicas durante o dia. Uma das desvantagens da utilização da radiação solar como fonte de energia térmica é exatamente essa irregularidade, ou seja,

o fluxo energético é tipicamente variável, mas quando se calcula as médias de temperatura obtidas, na entrada, no interior e na saída do equipamento, observa-se que os valores médios apontam na direção do uso favorável do equipamento. A temperatura média no interior do secador é de 44,7°C contra 32,8°C na entrada, isso representa um aumento médio na temperatura de 36,2%.

Considerando a média da temperatura ambiente durante o período dos ensaios de 27,2°C, é possível concluir que o equipamento, neste teste, apresentou um aumento percentual na temperatura média de 64,2%. Esta diferença entre a média da temperatura ambiente e a média da temperatura no interior do secador solar é responsável pelo aumento na desidratação da mamona no secador solar. Considerando que a média da temperatura do ambiente é a responsável pelo processo de desidratação da mamona no sistema aberto (terreiro), serão necessários mais estudos experimentais para tentar estabelecer uma correlação entre o aumento da temperatura no interior do equipamento e a perda de massa na mamona, por enquanto é suficiente observar este ganho.

Para calcular a média das temperaturas em cada posição do secador solar, é utilizada a Equação 14.

$$Ma = \frac{\sum T}{n} \quad (\text{eq. 14})$$

Onde:

Ma é a média aritmética
 $\sum T$ é o somatório das temperaturas
n é o número de horas

Aplicando-se a Equação 14 aos valores obtidos no ensaio E1, chega-se a:

- ✓ Temperatura média na entrada do secador solar: 32,8°C
- ✓ Temperatura média no interior do secador solar: 44,7°C
- ✓ Temperatura média na saída do secador solar: 34,6°C
- ✓ Temperatura média do ambiente: 27,2°C

4.2 Experimento 2 - Curvas de secagem e dados de temperatura

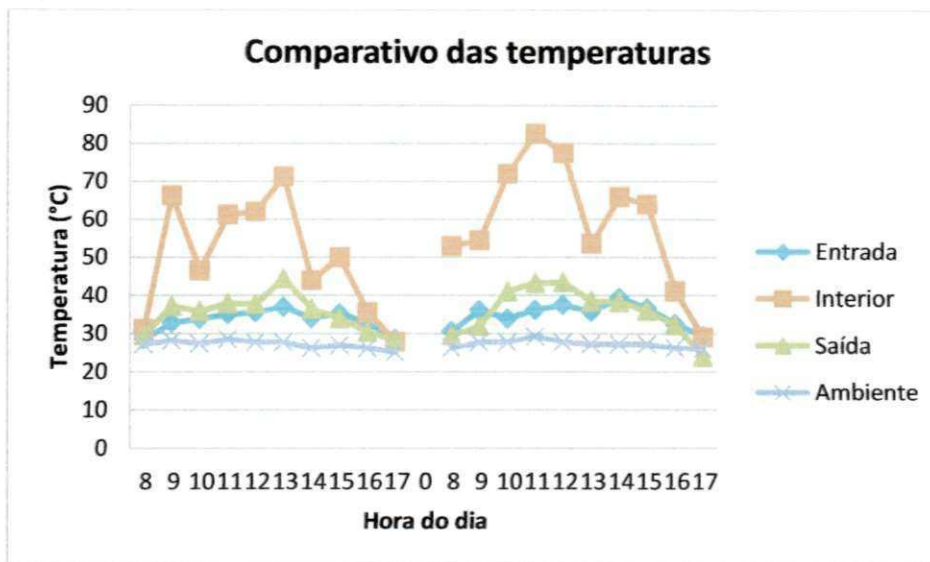
Os resultados obtidos, experimentalmente, para a massa da mamona durante a secagem no secador solar e no terreiro, temperatura ambiente e temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador solar nos dias 08 e 09 de outubro de 2011 estão contidos nas Tabelas B1 e B2 do Apêndice B, com representação gráfica dos valores nas Figuras 4.3 e 4.4.

Figura 4.3. Variação de massa de mamona em E1.



Neste experimento, é possível observar que ocorreu uma redução na massa da mamona no secador solar de 71%, ou seja, considerando que a massa dissipada para o ambiente seja de água, 710 g ($1.000 \text{ g} - 290 \text{ g} = 710 \text{ g}$) de água foram retiradas da mamona. No mesmo experimento, ou seja, com a mesma quantidade inicial de mamona originária da mesma região de produção e colhida na mesma localidade e no mesmo dia, a redução de água em sistema aberto (terreiro) foi de 576 g (57,6%). Isto mostra que comparativamente a secagem utilizando secador solar apresenta uma eficiência de 23,7% a mais.

Figura 4.4. Temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador em E2.



É possível observar que a temperatura no interior do secador se mostrou sempre superior a temperatura do ar na entrada do secador solar durante todo o processo de secagem. A temperatura do ar na entrada do secador solar é ligeiramente superior a temperatura do ambiente. Esse ganho mostra que o equipamento testado cumpre com sua função que é a de obter temperaturas no interior do equipamento maiores do que a temperatura do meio ambiente.

No interior do secador solar foi possível observar picos de temperatura de 71,3°C, às 13:00 h no primeiro dia do ensaio e de 82,6°C, às 11:00 h no segundo dia do ensaio. Isto está associado as condições climáticas que variam muito ao longo do dia, sendo uma característica da intensidade da radiação solar que varia muito em função das condições meteorológicas durante o dia. Uma das desvantagens da utilização da radiação solar como fonte de energia térmica é exatamente essa irregularidade, ou seja, o fluxo energético é tipicamente variável, mas quando se calcula as médias de temperatura obtidas, na entrada, no interior e na saída do equipamento observa-se que os valores médios apontam na direção do uso favorável do equipamento. A temperatura média no interior do secador é de 54,5°C contra 34,1°C na entrada, isso representa um aumento médio na temperatura de 59,6%.

Considerando a média da temperatura ambiente durante o período dos ensaios de 27,2°C, é possível verificar que o equipamento, neste teste, apresentou um aumento percentual na temperatura média de 100%, ou seja a média da temperatura no interior do equipamento foi duas vezes maior do que a média da temperatura ambiente.

Neste caso, mesmo dobrando a média da temperatura no interior do equipamento, a perda de massa no secador solar foi de apenas 26,3% a mais do que no processo de secagem em terreiro. Isto mostra que ainda não é possível estabelecer uma correlação direta apenas entre o aumento da temperatura e a perda de massa. Sabe-se que outros fatores e outras propriedades termodinâmicas estão envolvidas, como por exemplo, a umidade relativa do ar e a velocidade do ar incidente, entre outras.

Para calcular a média das temperaturas em cada posição do secador solar foi utilizada a Equação 14 e os valores obtidos no ensaio E2 foram:

- ✓ Temperatura média na entrada do secador solar: 34,1°C
- ✓ Temperatura média no interior do secador solar: 54,5°C
- ✓ Temperatura média na saída do secador solar: 35,5°C
- ✓ Temperatura média do ambiente: 27,2°C

4.3 Experimento 3 - Curvas de secagem e dados de temperatura

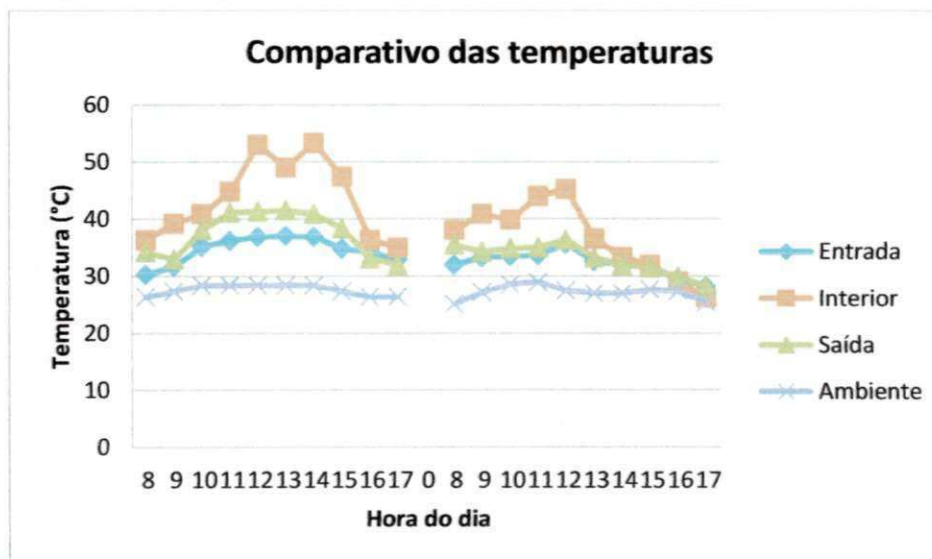
Os resultados obtidos, experimentalmente, para secagem da mamona (no secador solar e no terreiro), temperatura ambiente e temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador solar nos dias 30 de outubro e 01 de novembro de 2011 estão nas Tabelas C1 e C2 do Apêndice C, com representação gráfica dos valores nas Figuras 4.5 e 4.6, respectivamente.

Figura 4.5. Variação de massa de mamona em E3.



Neste experimento, é possível observar que ocorreu uma redução na massa da mamona no secador solar de 64,7%, ou seja, considerando que a massa dissipada para o ambiente seja de água, 647 g ($1.000 \text{ g} - 353 \text{ g} = 647 \text{ g}$) de água foram retiradas da mamona. No mesmo experimento, ou seja, com a mesma quantidade inicial de mamona originária da mesma região de produção e colhida na mesma localidade e no mesmo dia, a redução de água em sistema aberto (terreiro) foi de 504 g (50,4%). Isto mostra que, comparativamente, a secagem utilizando secador solar apresenta uma eficiência de 28,4% a mais, embora comparativamente, aos experimentos E1 e E2, a perda de massa no experimento E3 foi menor.

Figura 4.6. Temperatura na entrada, no interior e na saída do secador em E3.



É possível observar que a temperatura no interior do secador se mostrou sempre superior a temperatura do ar na entrada do secador solar durante todo o processo de secagem. A temperatura do ar na entrada do secador solar é ligeiramente superior a temperatura do ambiente. Esse ganho mostra que o equipamento testado cumpre com sua função que é a de obter temperaturas no interior do equipamento maiores do que a temperatura do meio ambiente.

No interior do secador solar foi possível observar picos de temperatura de 53,3°C, às 14:00 h no primeiro dia do ensaio e de 45,2°C, às 12:00 h no segundo dia do ensaio. Isto está associado às condições climáticas que variam muito ao longo do dia, sendo uma característica da intensidade da radiação solar que varia muito em função das

condições meteorológicas durante o dia. Neste dia 01 de novembro de 2011 foi predominante a ocorrência de nuvens, o que reduziu a intensidade da radiação solar direta incidente sobre o equipamento.

Como sabido, uma das desvantagens da utilização da radiação solar como fonte de energia, é esta irregularidade, ou seja, o fluxo energético é tipicamente variável. Porém, mesmo neste dia, quando se calcula as médias de temperatura obtidas, na entrada, no interior e na saída do equipamento observa-se que os valores médios apontam na direção do uso favorável do equipamento. A temperatura média no interior do secador foi de 40,0°C contra 33,4°C na entrada, representando um aumento médio na temperatura de 19,6%.

Considerando a média da temperatura ambiente durante o período dos ensaios de 27,5°C, é possível verificar que o equipamento, neste teste, apresentou um aumento percentual na média de 45,4%.

Para calcular a média das temperaturas em cada posição do secador solar foi utilizada a Equação 14 e os valores obtidos no ensaio E3 foram:

- ✓ Temperatura média na entrada do secador solar: 33,4°C
- ✓ Temperatura média no interior do secador solar: 40,0°C
- ✓ Temperatura média na saída do secador solar: 35,2°C
- ✓ Temperatura média do ambiente: 27,5°C

4.4 Experimento 4 - Curvas de secagem e dados de temperatura

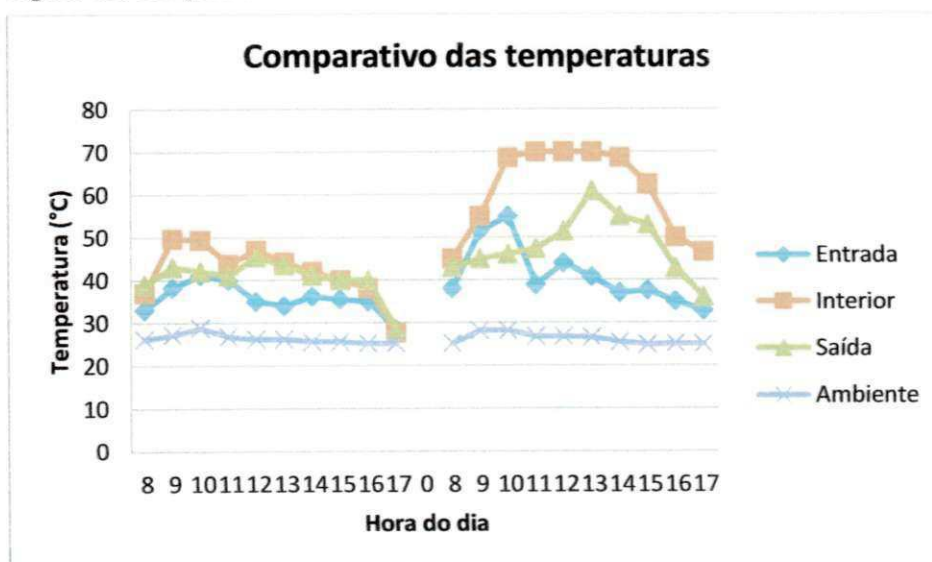
Os resultados obtidos, experimentalmente, para a massa da mamona durante a secagem no secador solar e no terreiro, temperatura ambiente e temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador solar nos dias 18 e 19 de abril de 2012 estão contidos nas Tabelas D1 e D2 do Apêndice D, com representação gráfica dos valores nas Figuras 4.7 e 4.8, respectivamente.

Figura 4.7. Variação de massa de mamona em E4.



Neste experimento, é possível observar que ocorreu uma redução na massa da mamona no secador solar de 71.3%, ou seja, considerando que a massa dissipada para o ambiente seja de água, 713 g ($1.000 \text{ g} - 287 \text{ g} = 713 \text{ g}$) de água foram retiradas da mamona. No mesmo experimento, ou seja, com a mesma quantidade inicial de mamona originária da mesma região de produção e colhida na mesma localidade e no mesmo dia, a redução de água em sistema aberto (terreiro) foi de 611 g (61,1%). Isto mostra que, comparativamente, a secagem utilizando secador solar apresenta uma eficiência de 16,7% a mais.

Figura 4.8. Temperatura do ar na entrada no interior e na saída do secador em E4.



É possível observar que a temperatura no interior do secador se mostrou sempre superior a temperatura do ar na entrada do secador solar durante todo o processo de secagem. A temperatura do ar na entrada do secador solar é ligeiramente superior a temperatura do ambiente. Esse ganho mostra que o equipamento testado cumpre com sua função que é a de obter temperaturas no interior do equipamento maiores do que a temperatura do meio ambiente.

No interior do secador solar foi possível observar picos de temperatura de 49,7°C, às 09:00 h no primeiro dia do ensaio e de 70,0°C, de 11:00 h às 13:00 h no segundo dia do ensaio. Isso está associado às condições climáticas que variam muito ao longo do dia, sendo uma característica da intensidade da radiação solar que varia muito em função das condições meteorológicas durante o dia.

Foram observadas nuvens apenas no primeiro dia, o que reduziu a intensidade da radiação solar direta incidente sobre o equipamento. Como sabido, esta é uma das desvantagens da utilização da radiação solar como fonte de energia, essa irregularidade, ou seja, o fluxo energético é tipicamente variável. Porém, mesmo neste dia, quando se calcula as médias de temperatura obtidas, na entrada, no interior e na saída do equipamento observa-se que os valores médios apontam na direção do uso favorável do equipamento. A temperatura média no interior do secador foi de 51,2°C contra 38,4°C na entrada, isso representa um aumento médio na temperatura de 33,6%.

Considerando a média da temperatura ambiente durante o período dos ensaios de 26,2°C, é possível verificar que o equipamento, neste teste, apresentou um aumento percentual na média de 95,6%.

Para calcular a média das temperaturas em cada posição do secador solar foi utilizada a Equação 14 e os valores obtidos no ensaio E4 foram:

- ✓ Temperatura média na entrada do secador solar: 38,4°C
- ✓ Temperatura média no interior do secador solar: 51,2°C
- ✓ Temperatura média na saída do secador solar: 44,2°C
- ✓ Temperatura média do ambiente: 26,2°C

4.5 Comparação das curvas de secagem e de temperatura em E1, E2, E3, E4.

São apresentadas nas Figuras de 4.9 a 4.13 representações gráficas comparativas dos respectivos dias de testes experimentais (E1, E2, E3, E4) da variação de massa da mamona no secador solar e no terreiro, e da temperatura do ar na entrada,

no interior e na saída do secador solar. Esses resultados estão contidos nas Tabelas de E1 a E5 no Apêndice E.

Figura 4.9. Comparativo da perda de massa de mamona no secador solar E1, E2, E3 e E4.



O teste experimental (E1) se mostrou o mais eficiente comparativamente com os outros, em relação a perda de massa no secador solar. A massa final nesse experimento foi de 280 g, portanto ocorreu uma perda de água de 720 g. O teste que apresentou comparativamente o menor rendimento, em relação a perda de massa da mamona no secador solar foi o E3, dia 31 de outubro e 01 de novembro de 2011, no qual a massa final foi de 353 g, portanto, uma perda de 647 g.

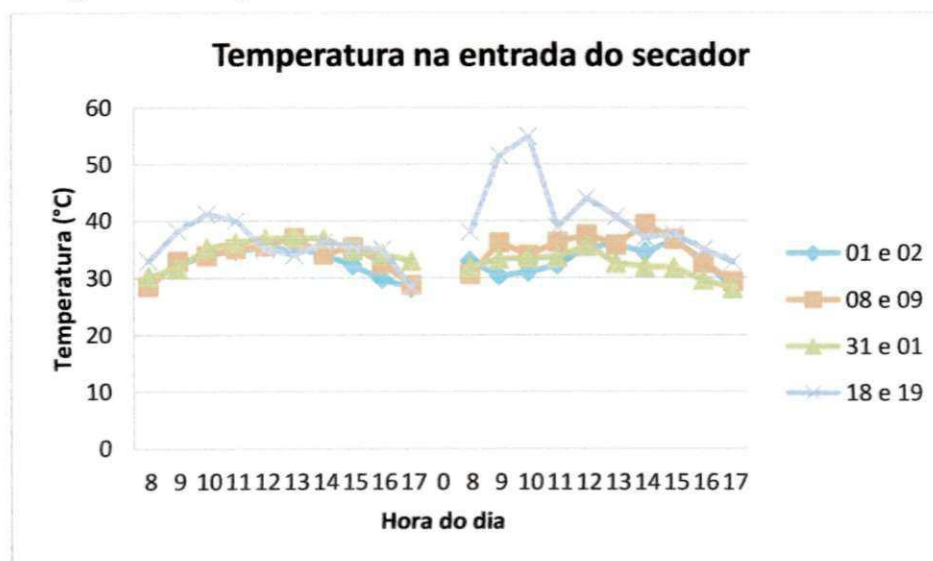
Figura 4.10. Comparativo da perda de massa de mamona no terreiro E1, E2, E3 e E4.



Com relação às secagens realizadas no terreiro, nos dias 18 e 19 de abril (E4) foi obtido o melhor resultado, 389 g, já nos dias 31 e 01 de novembro (E3) foram obtidos os resultados mais desfavoráveis, 496 g; comparando os dois resultados a secagem no Experimento 4 foi 10,7% mais eficiente que o Experimento 3.

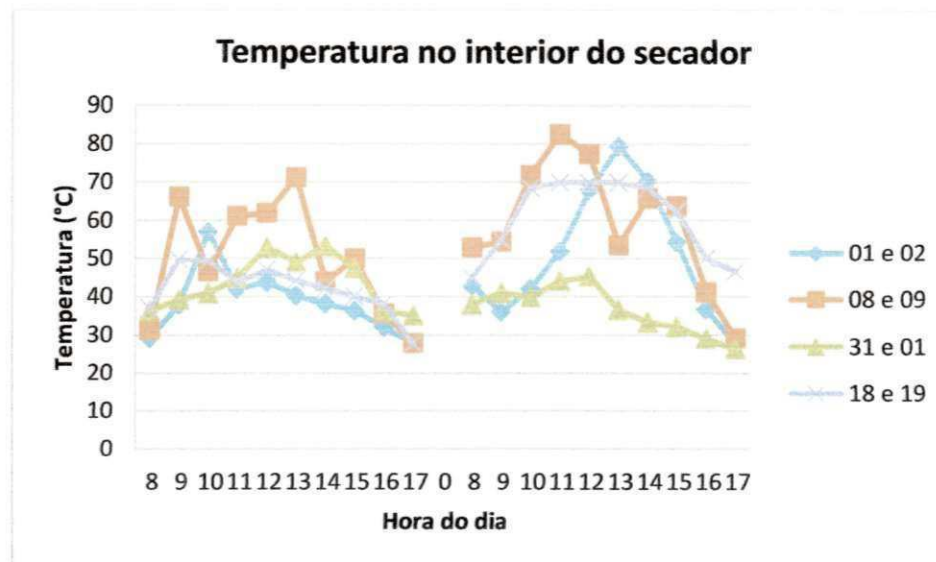
O teste experimental realizado no dia 18-19 de abril de 2012 (E4) se mostrou o mais eficiente comparativamente com os outros. Em relação a perda de massa no terreiro, a massa final nesse experimento foi de 389 g. Portanto, ocorreu uma perda de massa de 611 g. O teste que apresentou comparativamente o menor rendimento, em relação a perda de massa da mamona no terreiro foi o E3, dia 31 de outubro e 01 de novembro de 2011, onde a massa final foi de 496 g. Portanto, uma perda de apenas 504 g. Como a perda de massa da mamona no terreiro está diretamente associada a temperatura do ambiente, este resultado já era esperado, uma vez que a temperatura média do meio ambiente foi, respectivamente, a maior no E3 (27,5°C) e a menor no E4 (26,2°C). Embora a perda de massa da mamona não dependa unicamente da temperatura, essa propriedade termodinâmica é fundamental para acelerar ou retardar o processo de perda de massa no produto.

Figura 4.11. Temperatura do ar na entrada do secador durante os testes.



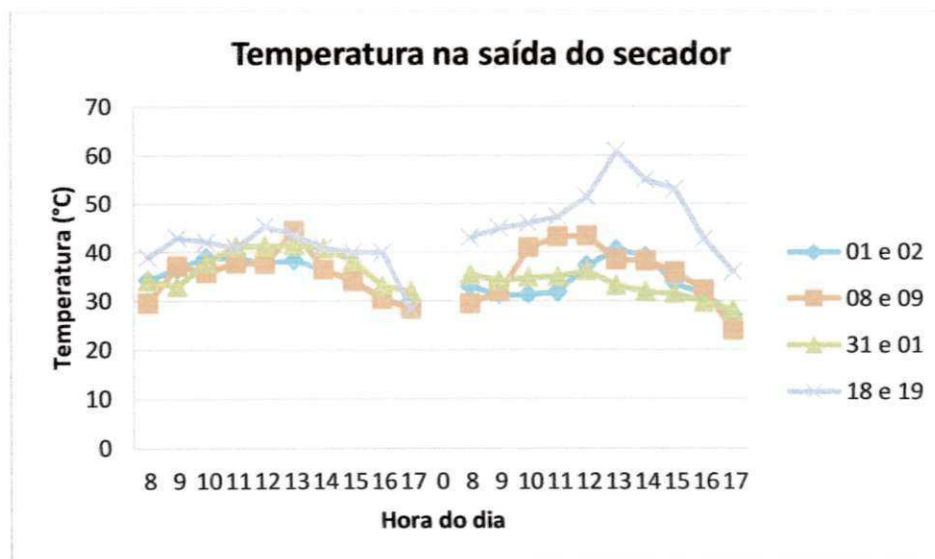
No dia 19 de abril de 2012 foi observada a maior temperatura registrada na entrada do secador 55,0°C às 10:00 h.

Figura 4.12. Temperatura do ar no interior do secador durante os testes.



A maior temperatura registrada no interior do secador solar foi de 82,6°C às 11:00 h do dia 09 de outubro de 2011, quando a temperatura ambiente era de 30°C. Esse valor de temperatura no interior do equipamento demonstra a qualidade do sistema em desenvolvimento.

Figura 4.13. Temperatura do ar na saída do secador durante os testes.



A maior temperatura na saída do secador solar foi observada no dia 19 de abril de 2012 às 13:00 h; a temperatura medida foi de 60,9°C.

Na tabela 4.2 é apresentado um resumo dos valores obtidos nos quatro testes experimentais.

Tabela 4.2. Resumo dos valores obtidos nos quatro testes experimentais

Características / propriedades do sistema	Experimento 1 / E1	Experimento 2 / E2	Experimento 3 / E3	Experimento 4 / E4
data	01 e 02 out 2011	08 e 09 out 2011	31 out e 01 nov 2011	18 e 19 abril 2012
Massa de mamona (g)				
Massa inicial _{secador ou terreiro}	1.000	1.000	1.000	1.000
Massa _{mamona seca}	190	190	190	190
Massa _{água inicial}	810	810	810	810
Massa final (secador solar)	280	290	353	287
Teor umidade inicial _{bu} (%)	81	81	81	81
Teor umidade final _{bu} (%)	9	10	16	10
$\Delta M (M_{\text{início}} - M_{\text{final}})$ secador solar	720	710	647	713
Massa final (terreiro)	419	424	496	389
$\Delta M (M_{\text{início}} - M_{\text{final}})$ terreiro	581	576	504	611
$\Delta M_{\text{secador}} / \Delta M_{\text{terreiro}}$ (efic. %)*	23,9	23,3	28,4	16,7
Temperatura (°C)				
T _{ambiente} (médio)	27,2	27,2	27,5	26,2
T _{entrada secador} (médio)	32,8	34,1	33,4	38,4
T _{interior secador} (médio)	44,7	54,5	40,0	51,2
T _{saída secador} (médio)	34,6	35,5	35,2	44,2
T _{máxima no interior secador solar}	79,5	82,6	53,0	70,0
T _{mínima no interior do secador solar}	27,6	27,9	26,2	27,7

* esta relação representa a eficiência percentual da secagem da mamona no secador solar em relação a secagem em processo natural – terreiro.

Capítulo V

Conclusões e Sugestões

para Trabalhos

Futuros

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Com base nos resultados experimentais obtidos para secagem da mamona utilizando o secador solar e ao ar livre (terreiro), pode-se concluir que:

- ✓ O processo de secagem realizado atendeu os objetivos. Os resultados obtidos permitiram construir as curvas de secagem para os dois processos, ou seja, com e sem o equipamento desenvolvido. Nos dois métodos de desumidificação utilizados, a mamona apresentou perda de umidade e consequente redução da massa, o que mostra a ocorrência de um processo de secagem.
- ✓ O secador solar apresentou média de temperatura em seu interior superior a 47,6°C e temperatura máxima de 82,6°C. A média da temperatura no interior do secador solar é 76% maior do que a média da temperatura ambiente.
- ✓ Comparando a eficiência de secagem nos dois processos, em terreiro e com secador solar obteve-se uma eficiência favorável à utilização do secador solar de aproximadamente 23,1%, o que mostra a vantagem comparativa do uso deste equipamento de secagem. O uso do secador solar contribuiu também para elevar a qualidade do produto final que fica livre de poeira, animais e das intempéries.
- ✓ O tempo de secagem no secador solar é inferior em relação ao verificado no processo ao ar livre. Na zona rural da cidade de Campina Grande-PB, a secagem em terreiro utilizada atualmente, em geral, dura em torno de 5 dias. Esse tempo foi diminuído para aproximadamente 2 dias, com a utilização do secador solar.
- ✓ Ficou notório nos testes experimentais realizados que, mesmo em situação de céu parcialmente encoberto e nublado, a mamona no secador solar continua perdendo umidade, pois o equipamento conserva, por um

determinado tempo, a temperatura no interior maior do que a temperatura ambiente devido ao seu isolamento. Já a massa da mamona no terreiro, nesta mesma situação mantém-se praticamente constante.

- ✓ A diferença de temperatura dentro e fora do secador solar apresenta uma boa correlação com a retirada de umidade da mamona.
- ✓ O material empregado na construção do secador solar é de baixo custo, fácil de ser encontrado na região, tornando simples sua operação, funcionamento e manutenção. Estas características tornam-no atrativo para emprego no ambiente da agricultura familiar.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para futuras pesquisas pode-se citar:

- ✓ Estudar o comportamento da secagem solar, com relação ao teor de umidade inicial e final do produto, tempo de secagem e qualidade final da mamona, em diferentes épocas do ano;
- ✓ Desenvolver um secador solar com câmara de secagem, aumentando a quantidade de mamona a ser desidratada em cada teste experimental, comparando os resultados obtidos com o da secagem no secador solar individual;
- ✓ Realizar testes experimentais de secagem solar com algumas variedades específicas de mamona desenvolvidas pela Embrapa;
- ✓ Realizar testes experimentais de secagem solar com outras oleaginosas usadas na produção de biodiesel no Brasil e comparar os resultados obtidos com os da mamona;

- ✓ Desenvolver e testar, experimentalmente, um sistema de aquisição de dados para medir e armazenar dados de temperatura, umidade relativa e velocidade de vento;
- ✓ Realizar testes experimentais para obter dados complementares que permitam utilizar as equações da transferência de calor e massa para realizar a análise energética e exergética do secador solar e calcular a eficiência termodinâmica do equipamento;
- ✓ Testar o sistema em desenvolvimento em outras localidades e comparar os resultados com os obtidos na cidade de Campina Grande-PB.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

AMALFI, S. L.; **Energia solar**. Lavras – MG: Universidade Federal de Lavras, 58p. (Monografia, Departamento de engenharia agrícola), 2005.

ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, Rio de Janeiro, 2011.

ANUNCIAÇÃO, E. B. B. **Utilização de um secador solar para desintoxicação da torta de mamona**. Natal - RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 88p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica), 2007.

AZEVEDO, D. M. P; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande, Embrapa, 504p. 2007.

BARBOSA, C. C. S. **Estudos sobre a produção e caracterização de uma amostra de biodiesel de mamona na UFCG**, IX Jornada de Trabalho de Conclusão de Curso, UAEM/CCT/UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2011.

BELTRÃO, N.E.M.; CARTAXO, W.V.; PEREIRA, S.R.; SILVA, O.R.R.F. **O cultivo sustentável da mamoneira no semi-árido**. Campina Grande: Embrapa, 62 p., 2006.

BIODIESELBR, disponível em <http://www.biodieselbr.com/biodiesel.htm>, Acesso em 21/03/2012.

BRASIL.GOV, disponível em <http://www.brasil.gov.br/inovacao/Cases/biodiesel/oleaginosas-brasileiras>. Acesso em 22/05/2012.

CÂMARA, G. M. de S.; HEIFFIG, L. S.; CARAMORI, P. H. **Oleaginosas para biodiesel requerem estudos agroclimáticos.** Visão Agrícola Nº8, São Paulo, p.73-77, junho 2008.

COSTA, A. R. da S. **Sistema de secagem solar para frutos tropicais e modelagem da secagem de banana em um secador de coluna estática.** Natal – RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 169p. (Tese de Doutorado em Engenharia Química), 2008.

COSTA, F. X.; SILVA, M. A.; JÚNIOR, E. N. S.; FILHO, J. S. M.; SILVA, F. E. de A.; **Avaliação do Crescimento da mamoneira sob efeito de casca de mamona e fertilizantes químicos.** Revista Verde. Mossoró – RN. v.5, n.4, p. 130 – 136 outubro/ dezembro de 2010.

CRESESB. 2008. **Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Salvo Brito.** Rio de Janeiro: Disponível no site: www.cresesb.cepel.br. 2008.

D'ARCE, M. A. B. R. e VIEIRA, T. M. F. de S. **Ampla gama de vegetais e sebo animal são base para biodiesel.** Visão Agrícola Nº8, São Paulo, p.11-12, junho 2008.

DANTAS, H. J. **Secagem solar e convencional de amêndoas de jaca.** Campina Grande-PB: Universidade Federal de Campina Grande, 143p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Agrícola), 2007.

DIACONIA. **Mamona : [série cultivos agroecológicos]** / texto: Adilson Viana e Marcelino Lima / revisão e colaboração: Afonso Fernandes, Joseilton Evangelista, Moésio Tôrres coordenação do projeto gráfico: Joseilton Evangelista. -- Recife : Diaconia, 20p., 2006.

DIÓGENES, A. de M. G.; **Secagem solar e convencional de grãos de abóbora.** Campina Grande-PB: Universidade Federal de Campina Grande, 155 p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Agrícola), 2010.

EMBRAPA, 2012. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/index.html>, Acesso em 20/03/2012.

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

FREITAS, E. de, **A crise do petróleo**, 2012. <http://www.brasilecola.com/geografia/a-crise-do-petroleo.htm>, acesso em 27/03/2012.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. **Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo**. São Paulo-SP: AGRENER GD, 10p. Escola Politécnica da USP, 2006.

GÓES, P. S. de A. **O papel da Petrobras na produção de biodiesel: Perspectiva de produção e distribuição do biodiesel de mamona**. Salvador – BA: Universidade Federal da Bahia, 64p. (Monografia, Departamento de Engenharia Ambiental), 2006.

GRILO, Marcelo Bezerra; **Fundamentos da energia solar: conceitos básicos e aplicações**. Editora da UFCG, 60 p. Campina Grande, PB. 2007.

IBGE, **Instituto Brasileiro de geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 28/05/2012.

JANK, M. S. **Fontes limpas de energia são patrimônios para o futuro**, Visão Agrícola N°8, São Paulo, p.134-137, junho 2008.

JUCÁ, J. F. T. **Ações do MCT no Setor de Biodiesel**, Seminário biodiesel: Fonte de energia das oleaginosas em Pernambuco – Recife - Outubro 2008.

LICUMBA, F. J. **Projecto de uma estufa solar para secagem de frutas**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, 56p. (Projeto de Curso, Departamento de Engenharia Mecânica), 2009.

LIMA, A. G. B. de; SILVA, E. G. da; SPAROVEK, G.; STURION, G. L.; PRECOPPE, M. F. de M.; MEIRA M. L. R.; SPOTO, M. H. F.; MORAES, S. O.; **Manual de desidratção solar de frutas, ervas e hortaliças**. Série Produtor Rural – nº 33. Piracicaba – SP: Universidade de São Paulo-USP, 50p. ISSN 1414-4530, 2006.

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

LIMA, Antônio Gilson Barbosa. **Fenômeno de difusão em sólidos esferoidais prolatos. Estudo de caso: Secagem de banana**, (Tese doutorado), Unicamp – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1999.

MACHADO, A. V. **Estudo da secagem do pedúnculo do caju em sistemas convencional e solar: Modelagem e simulação do processo**. Natal – RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 143p. (Tese, Doutorado em Engenharia Química), 2009.

MENEZES, R. S. C.; LIMA, J. P. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SICSÚ, A. B.; FREITAS, A. D. S. de; LOPES, G. M. B.; SILVEIRA, H. L. F.; MENDES, L. N.; GARRIDO, M. S.; FERREIRA, M. O.; WANDERLEY, M. B.; SILVEIRA, S. K. **Produção de óleos vegetais em Pernambuco para conversão em biodiesel**. Editora Universitária UFPE, Recife, PE, 2011.

MME, Ministério de Minas e Energia, **Boletim mensal dos combustíveis renováveis**, Edição Nº49, Fevereiro de 2012.

MOREIRA, I. M.; CAMPOS, P. B. de; LACEY, M. E. Q.; MIRANDA, G. R. de; LISBOA, H. de M. **VI-055 Estimativa e comparação da emissão de poluentes pelos ônibus urbanos da cidade de Florianópolis (SC) com a utilização de diesel e biodiesel como combustíveis**. Belém-PA: XIII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 5p. 10 a 14 de março de 2008.

NOGUEIRA, L. A. H. **Eficácia energética e ambiental deve condicionar biodiesel.** Visão Agrícola n. 8, São Paulo, p.134-137, junho 2008.

OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. P. dos. Química e sociedade. **Biodiesel: Possibilidades e desafios.** 1/11/2007. Acesso em 20/03/2012: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/02-QS-1707.pdf> às 15:00

PARK, K. J.; COLATO, A.; OLIVEIRA, R. A. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem.** Campinas-SP: v.1, 2007A.

PARK, K. J. B.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D.; PARK, K. J. **Seleção de secadores: fluxograma.** Campina Grande-PB: Revista Bras. de Prod. Agroindustriais, v. 9, nº 2, p. 179-202, 2007B.

PEREIRA, J. P. G.; TARGINO, D. A.; MARINHO, M. R. M. **232 – Produção de frutas-passas a partir da luz do sol.** Rev. Bras. de Agroecologia Vol. 1, Nº 1, 927-930, 2006.

PESSOA, V. M. do N.; SOUZA, F. das C. S.; REBOUÇAS, I. G. **O biodiesel como elemento de desenvolvimento sustentável no semi-árido Potiguar.** HOLOS - ISSN 1807-1600, Vol. 3, p.13, 2007.

SEBRAE, **Cartilha** 2007. Fonte: [http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/D170D324C7521915832572B200470F63/\\$File/NT00035116.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/D170D324C7521915832572B200470F63/$File/NT00035116.pdf). acesso em 27/03/2012 às 14:15. Acesso em 26/05/2012.

SINDER-CRJ, **Revista** 2012, disponível no site: http://www.sinderc-rj.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=240&Itemid=160, Acesso em 04/04/2012.

SOUZA, M. B. de. **Cinética de secagem e composição química da torta e do farelo de mamona em função das condições de secagem e armazenagem.** Campina Grande-PB: Universidade Federal de Campina Grande, 145p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia agrícola), 2007.

STANGERLIN, D. M. Avaliação do uso de estufa solar para secagem de madeira serrada de eucalipto. Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria, 113p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Ambiental), 2009.

VALE, L. S. do. Crescimento e produtividade da mamoneira BRS energia submetida a diversos espaçamentos. Arcia - PB: Universidade Federal da Paraíba, 42p. (Dissertação, Mestrado em Agronomia), 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Resultados dos testes experimentais obtidos (E1) nos dias 01 e 02 de outubro de 2011, para variação de massa da mamona no secador solar e no terreiro, e medida da temperatura do ar na entrada, no interior e na saída do secador solar.

Tabela A.1. Experimento 1, variação de massa da mamona, dias 01 e 02 de outubro 2011.

Hora (h)	Massa de mamona no secador solar (g)	Massa de mamona no terreiro (g)
08	1.000	1.000
09	941	953
10	865	913
11	763	860
12	691	820
13	617	779
14	568	748
15	525	716
16	504	692
17	493	681
...
08	461	625
09	436	601
10	417	583
11	400	558
12	368	526
13	338	490
14	308	468
15	290	445
16	283	428
17	280	419

Tabela A.2. Experimento 1, medida da temperatura do ar ambiente e no secador, dias 01 e 02 de outubro de 2011.

Hora (h)	T(°C) ambiente	Temperatura (°C) Entrada secador	Temperatura (°C) Interior secador	Temperatura (°C) Saída secador
08	28,2	29,3	29,2	34,4
09	28,2	32,3	37,9	36,7
10	27,4	34,0	57,0	39,0
11	28,6	34,8	42,0	38,8
12	27,8	35,3	43,7	37,9
13	27,8	35,2	40,2	38,4
14	26,2	34,1	38,1	36,5
15	27,0	32,2	36,3	34,3
16	26,2	29,8	32,1	30,8
17	25,2	28,3	27,7	28,3
...	
08	26,2	33,0	42,8	33,0
09	27,2	30,4	36,0	31,2
10	27,2	31,1	42,0	31,3
11	27,2	32,3	51,8	31,9
12	29,2	35,3	68,0	37,3
13	27,2	35,8	79,5	40,6
14	27,2	34,5	70,4	39,3
15	27,2	36,6	54,3	33,7
16	26,2	33,0	36,6	31,4
17	26,6	28,3	27,6	27,2

APÊNDICE B

Resultados dos testes experimentais obtidos (E2) nos dias 08 e 09 de outubro de 2011, para variação de massa da mamona no secador solar e no terreiro, e medida da temperatura na entrada, no interior e na saída do secador solar.

Tabela B1. Experimento 2, variação da massa da mamona dias 08 e 09 de outubro 2011.

Hora (h)	Massa de mamona no secador solar (g)	Massa de mamona no terreiro (g)
08	1.000	1.000
09	939	949
10	855	898
11	766	853
12	687	810
13	625	783
14	574	760
15	543	742
16	514	726
17	505	720
...
08	466	660
09	433	629
10	404	600
11	365	557
12	335	519
13	324	490
14	306	466
15	298	449
16	293	432
17	290	424

Tabela B2. Experimento 2, medida da temperatura ambiente e no secador, dias 08 e 09 de outubro de 2011.

Hora (h)	T(°C) ambiente	Temperatura (°C) Entrada secador	Temperatura (°C) Interior secador	Temperatura (°C) Saída secador
08	27,2	28,6	31,2	29,6
09	28,2	32,9	66,3	37,2
10	27,4	33,9	46,5	35,9
11	28,6	35,1	61,3	37,9
12	27,8	35,6	62,0	37,7
13	27,8	37,0	71,3	44,5
14	26,2	34,1	44,0	36,5
15	27,0	35,4	50,0	34,1
16	26,2	32,6	35,6	30,4
17	25,2	28,8	27,9	28,4
...
08	26,2	30,7	53,0	29,5
09	27,8	36,2	54,4	32,0
10	27,8	34,0	72,0	41,0
11	29,2	36,3	82,6	43,2
12	27,8	37,5	77,5	43,4
13	27,2	35,8	53,5	38,5
14	27,2	39,4	65,9	38,3
15	27,2	36,7	64,0	36,0
16	26,2	32,6	41,1	32,3
17	26,0	29,4	29,1	24,0

APÊNDICE C

Resultados dos testes experimentais obtidos (E3) nos dias 31 de outubro e 01 de novembro de 2011, para variação de massa da mamona no secador solar e no terreiro, e medida da temperatura na entrada, no interior e na saída do secador solar.

Tabela C1. Experimento 3, variação da massa da mamona dia 31 de outubro e 01 de novembro 2011.

Hora (h)	Massa de mamona no secador solar (g)	Massa de mamona no terreiro (g)
08	1.000	1.000
09	952	939
10	876	894
11	777	845
12	692	803
13	614	763
14	561	731
15	524	700
16	503	687
17	495	676
...
08	465	633
09	447	619
10	427	602
11	410	583
12	391	562
13	381	547
14	372	531
15	364	519
16	357	508
17	353	496

Tabela C2. Experimento 3, medida da temperatura ambiente e no secador, dia 31 de outubro e 01 de novembro de 2011.

Hora (h)	T(°C) ambiente	Temperatura (°C) Entrada secador	Temperatura (°C) Interior secador	Temperatura (°C) Saída secador
08	26,4	30,3	36,3	34,2
09	27,4	31,7	39,2	33,0
10	28,4	35,2	40,9	38,0
11	28,4	36,2	44,8	41,2
12	28,4	36,9	53,0	41,3
13	28,4	37,1	49,0	41,5
14	28,4	36,9	53,3	40,9
15	27,4	34,8	47,4	38,3
16	26,4	34,2	36,3	33,1
17	26,4	33,0	35,0	32,0
...
08	25,1	32,0	38,0	35,5
09	27,2	33,3	40,9	34,2
10	28,6	33,5	39,8	34,9
11	28,9	33,7	44,0	35,0
12	27,5	35,6	45,2	36,3
13	27,0	32,6	36,5	33,2
14	27,0	32,0	33,3	32,0
15	27,7	31,8	32,0	31,5
16	27,4	29,6	29,0	29,8
17	25,4	28,2	26,2	28,2

APÊNDICE D

Resultados dos testes experimentais obtidos (E4) nos dias 18 e 19 de abril de 2012, para variação de massa da mamona no secador solar e no terreiro, e medida da temperatura na entrada, no interior e na saída do secador solar.

Tabela D1. Experimento 4, variação da massa da mamona dia 18 e 19 de abril de 2012.

Hora	Massa de mamona no secador solar	Massa de mamona no terreiro
(h)	(g)	(g)
08	1.000	1.000
09	941	963
10	896	936
11	823	894
12	777	870
13	685	822
14	623	787
15	570	750
16	535	731
17	516	716
...
08	500	705
09	436	628
10	408	600
11	338	550
12	316	500
13	290	441
14	287	418
15	287	401
16	287	394
17	287	389

Tabela D2. Experimento 4, medida da temperatura ambiente e no secador, dia 18 e 19 de abril de 2012.

Hora (h)	T(°C) ambiente	Temperatura (°C) Entrada secador	Temperatura (°C) Interior secador	Temperatura (°C) Saída secador
08	26,2	33,0	37,0	39,0
09	27,2	38,2	49,7	43,0
10	28,8	41,2	49,4	42,1
11	26,8	40,0	43,7	41,0
12	26,2	35,0	47,0	45,4
13	26,2	34,0	44,2	43,5
14	25,6	36,2	42,0	41,0
15	25,6	35,5	40,0	40,0
16	25,2	35,0	38,1	40,0
17	25,2	28,5	27,7	28,3
...	
08	25,2	38,0	45,0	43,0
09	28,2	51,6	55,0	45,0
10	28,2	55,0	68,6	46,0
11	26,8	38,9	70,0	47,3
12	26,8	44,0	70,0	51,4
13	26,6	40,7	70,0	60,9
14	25,5	37,0	68,6	55,0
15	24,9	37,6	62,4	53,0
16	25,1	35,0	50,0	42,8
17	25,0	32,8	46,5	36,0

APÊNDICE E

As Tabelas de E1 a E5 apresentam os dados experimentais obtidos para variação de massa da mamona no secador solar; variação de massa da mamona no terreiro; temperatura na entrada do secador solar; temperatura no interior do secador solar; temperatura na saída do secador solar.

(Tabela E1) Variação de massa da mamona no secador solar;

(Tabela E2) Variação de massa da mamona no terreiro;

(Tabela E3) Temperatura na entrada do secador solar

(Tabela E4) Temperatura no interior do secador solar;

(Tabela E5) Temperatura na saída do secador solar.

Tabela E1. Variação da massa da mamona no secador solar para cada experimento.

Hora (h)	E1 (g)	E2 (g)	E3 (g)	E4 (g)
	dias 01 e 02 out	dias 08 e 09 out	dias 31 e 01 nov	dias 18 e 19 abr
	2011	2011	2011	2012
08	1.000	1.000	1.000	1.000
09	941	939	952	941
10	865	855	876	896
11	763	766	777	823
12	691	687	692	777
13	617	625	614	685
14	568	574	561	623
15	525	543	524	570
16	504	514	503	535
17	493	505	495	516
...
08	461	466	465	500
09	436	433	447	436
10	417	404	427	408
11	400	365	410	338
12	368	335	391	316
13	338	324	381	290
14	308	306	372	287
15	290	298	364	287
16	283	293	357	287
17	280	290	353	287

Tabela E2. Variação da massa da mamona no terreiro para cada experimento.

Hora (h)	E1 (g)	E2 (g)	E3 (g)	E4 (g)
	dias 01 e 02 out 2011	dias 08 e 09 out 2011	dias 31 e 01 nov 2011	dias 18 e 19 abr 2012
08	1.000	1.000	1.000	1.000
09	953	949	939	963
10	913	898	894	936
11	860	853	845	894
12	820	810	803	870
13	779	783	763	822
14	748	760	731	787
15	716	742	700	750
16	692	726	687	731
17	681	720	676	716
...
08	625	660	633	705
09	601	629	619	628
10	583	600	602	600
11	558	557	583	550
12	526	519	562	500
13	490	490	547	441
14	468	466	531	418
15	445	449	519	401
16	428	432	508	394
17	419	424	496	389

Tabela E3: Variação da temperatura na entrada do secador solar para cada experimento.

Hora (h)	E1 (°C)	E2 (°C)	E3 (°C)	E4 (°C)
	dias 01 e 02 out 2011	dias 08 e 09 out 2011	dias 31 e 01 nov 2011	dias 18 e 19 abr 2012
8	29,3	28,6	30,3	33,0
9	32,3	32,9	31,7	38,2
10	34	33,9	35,2	41,2
11	34,8	35,1	36,2	40,0
12	35,3	35,6	36,9	35,0
13	35,2	37,0	37,1	34,0
14	34,1	34,1	36,9	36,2
15	32,2	35,4	34,8	35,5
16	29,8	32,6	34,2	35,0
17	28,3	28,8	33	28,5
...
8	33,0	30,7	32,0	38,0
9	30,4	36,2	33,3	51,6
10	31,1	34,0	33,5	55,0
11	32,3	36,3	33,7	38,9
12	35,3	37,5	35,6	44,0
13	35,8	35,8	32,6	40,7
14	34,5	39,4	32,0	37,0
15	36,6	36,7	31,8	37,6
16	33,0	32,6	29,6	35,0
17	28,3	29,4	28,2	32,8

Tabela E4: Variação da temperatura no interior do secador solar para cada experimento.

Hora (h)	E1 (°C)	E2 (°C)	E3 (°C)	E4 (°C)
	dias 01 e 02 out 2011	dias 08 e 09 out 2011	dias 31 e 01 nov 2011	dias 18 e 19 abr 2012
08	29,2	31,2	36,3	37,0
09	37,9	66,3	39,2	49,7
10	57,0	46,5	40,9	49,4
11	42,0	61,3	44,8	43,7
12	43,7	62,0	53,0	47,0
13	40,2	71,3	49,0	44,2
14	38,1	44,0	53,3	42,0
15	36,3	50,0	47,4	40,0
16	32,1	35,6	36,3	38,1
17	27,7	27,9	35,0	27,7
...
08	42,8	53,0	38,0	45,0
09	36,0	54,4	40,9	55,0
10	42,0	72,0	39,8	68,6
11	51,8	82,6	44,0	70,0
12	68,0	77,5	45,2	70,0
13	79,5	53,5	36,5	70,0
14	70,4	65,9	33,3	68,6
15	54,3	64,0	32,0	62,4
16	36,6	41,1	29,0	50,0
17	27,6	29,1	26,2	46,5

Tabela E5: Variação da temperatura na saída do secador solar para cada experimento.

Hora (h)	E1 (°C)	E2 (°C)	E3 (°C)	E4 (°C)
	dias 01 e 02 out	dias 08 e 09 out	dias 31 e 01 nov	dias 18 e 19 abr
	2011	2011	2011	2012
08	34,4	29,6	34,2	39,0
09	36,7	37,2	33,0	43,0
10	39,0	35,9	38,0	42,1
11	38,8	37,9	41,2	41,0
12	37,9	37,7	41,3	45,4
13	38,4	44,5	41,5	43,5
14	36,5	36,5	40,9	41,0
15	34,3	34,1	38,3	40,0
16	30,8	30,4	33,1	40,0
17	28,3	28,4	32,0	28,3
...
08	33,0	29,5	35,5	43,0
09	31,2	32,0	34,2	45,0
10	31,3	41,0	34,9	46,0
11	31,9	43,2	35,0	47,3
12	37,3	43,4	36,3	51,4
13	40,6	38,5	33,2	60,9
14	39,3	38,3	32,0	55,0
15	33,7	36,0	31,5	53,0
16	31,4	32,3	29,8	42,8
17	27,2	24,0	28,2	36,0

ANEXOS

ANEXO I

Dados Geográficos e Meteorológicos de Campina Grande – Paraíba.

O município de Campina Grande encontra-se situado no planalto da Borborema na chamada Serra do Bacamarte e apresenta condições geo-morfológicas bastante acidentadas. No Estado da Paraíba, o município ocupa a porção centro-oriental, numa área de 970 km² a uma altitude média de 550 metros nas seguintes coordenadas geográficas: ponto extremo sul 7° 15' 18'' de latitude (Sul) e longitude 35° 52' 36'' (w Gr).

Tabela Ia. Dados meteorológicos de Campina Grande-PB.

Mês/média	Umidade Relativa (%)	Nebulosidade (0 – 10)	Precipitação pluviométrica	
			Média mensal (mm)	Máxima em 24 h (mm)
Janeiro	67,0	6,0	10,4	9,9
Fevereiro	67,0	6,0	5,6	4,9
Março	66,0	5,0	23,1	16,0
Abril	73,0	6,0	52,1	30,6
Maiο	76,0	6,0	30,5	12,5
Junho	80,0	7,0	140,9	57,0
Julho	80,0	7,0	84,8	16,0
Agosto	73,0	5,0	32,9	17,3
Setembro	69,0	5,0	4,5	12,8
Outubro	69,0	6,0	9,9	4,1
Novembro	69,0	6,0	7,7	2,9
Dezembro	67,0	5,0	4,2	1,8

Tabela Ia. Dados meteorológicos de Campina Grande (continuação).

Mês/média	Evaporação	Horas de insolação (horas)	Radiação solar (Cal/cm²)	Pressão atmosférica (mbar)
Janeiro	169,7	230,5	14.880	951,2
Fevereiro	190,0	250,3	14.000	950,3
Março	190,7	205,0	15.500	950,8
Abril	100,1	201,2	13.500	950,3
Mai	93,5	210,0	12.400	951,2
Junho	55,9	184,3	10.500	953,5
Julho	...	100,9	11.470	953,8
Agosto	...	249,6	13.950	953,9
Setembro	...	255,3	15.000	952,3
Outubro	159,1	268,9	15.500	951,6
Novembro	150,7	259,4	15.600	950,0
Dezembro	165,7	209,2	14.260	949,8

Tabela Ia. Dados meteorológicos de Campina Grande (continuação).

Mês/média	Temperatura do ar (°C)	
	Média das máximas	Média das mínimas
Janeiro	30,8	20,3
Fevereiro	31,7	20,6
Março	31,5	20,6
Abril	30,1	20,8
Maiο	29,2	20,5
Junho	26,7	18,9
Julho	26,1	18,3
Agosto	27,8	18,7
Setembro	29,7	19,5
Outubro	30,7	20,1
Novembro	30,9	20,4
Dezembro	31,3	20,7

Fonte. Anuário estatístico do Instituto Nacional de Meteorologia, núcleo de meteorologia aplicada (UFPB).

ANEXO II

Tabela IIa. Dados meteorológicos de Campina Grande nos respectivos dias de testes E1, E2, E3, E4 as 00:00 horas.

Data	Temp. Bulbo Seco (°C)	Temp. Bulbo Úmido (°C)	Temp. Máxima (°C)	Umidade Relativa (%)	Pressão Atmosf. (mbar)	Veloc. Vento (m/s)	Horas de insolação (h)
01/10/11	20,6	19,6	28,3	91,0	954,7	3,8	8,5
02/10/11	20,3	18,7	28,0	86,0	953,5	3,3	9,5
08/10/11	21,4	20,2	29,7	89,0	953,8	3,5	11,0
09/10/11	21,5	19,8	29,9	85,0	953,4	3,3	9,7
31/10/11	22,2	21,0	31,4	89,0	951,0	4,5	10,8
01/11/11	22,4	21,2	28,4	90,0	950,1	4,5	5,6
18/04/12	23,4	21,7	31,3	86,0	953,9	4,1	8,6
19/04/12	...	20,6	32,0	83,0	953,0	3,0	...

Fonte. Dados da rede do INMET, 2012

Tabela IIb. Dados meteorológicos de Campina Grande nos respectivos dias de testes E1, E2, E3, E4 as 12:00 horas.

Data	Precipitação (mm)	Temp. Bulbo Seco (°C)	Temp. Bulbo Úmido (°C)	Temp. Mínima (°C)	Umidade Relativa (%)	Pressão Atmosf. (mbar)	Veloc. Vento (m/s)
01/10/11	0,0	24,0	21,1	19,3	78,0	953,7	3,5
02/10/11	0,0	23,3	20,0	19,3	74,0	953,7	4,8
08/10/11	0,0	23,3	20,2	18,1	76,0	953,4	4,1
09/10/11	0,0	25,3	21,3	19,0	70,0	953,4	4,5
31/10/11	0,0	25,4	21,9	20,8	74,0	951,3	3,5
01/11/11	0,0	24,9	21,9	21,3	76,0	952,3	4,8
18/04/12	0,0	25,9	21,5	21,3	67,0	954,2	2,8
19/04/12	0,0	24,9	20,8	21,3	69,0	952,9	3,0

Fonte. Dados da rede do INMET, 2012

Tabela IIc. Dados meteorológicos de Campina Grande nos respectivos dias de testes E1, E2, E3, E4 as 18:00 horas.

Data	Temp. Bulbo Seco (°C)	Temp. Bulbo Úmido (°C)	Umidade Relativa (%)	Pressão Atmosf. (mbar)	Veloc. Vento (m/s)
01/10/11	27,9	21,2	56,0	952,2	3,3
02/10/11	27,7	21,3	57,0	951,7	5,0
08/10/11	29,2	22,8	59,0	949,7	5,3
09/10/11	28,8	22,1	55,0	949,2	4,1
31/10/11	30,3	23,3	55,0	948,2	3,5
01/11/11	26,8	21,6	62,0	950,5	3,5
18/04/12	31,2	23,0	49,0	943,0	3,3
19/04/12	30,9	21,4	40,0	949,1	3,3

Fonte. Dados da rede do INMET, 2012

ANEXO III

Cópia do laudo de análise da mamona no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da UFPB.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

João Pessoa, 09 de agosto de 2012.

LAUDO DE ANÁLISE Nº 217/12

SOLICITANTE:	MARCOS DEES BARROS FILHO S/A
ENDEREÇO:	Rua João José Apolinário, 76 - Pombal - PB
PRODUTOS:	MAMONA IN NATURA
COLETADO POR:	Fidelis Almeida de Sá
MARCA/PROCEDÊNCIA:	- Pombal - PB
OBTENÇÃO: VAL.	- -
DATA DE ENTRADA:	25.07.2012
DATA DE ANÁLISE:	28.07.2012
AMOSTRA: QUANT.	Nº 679,00 (gramas)

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

ANÁLISES	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3	MEDIA
Umidade (%)	80,10	81,10	81,27	80,91
Materia Total Sólida (%)	1,80	1,80	1,82	1,80
Proteína Total (%)	2,30	2,30	2,30	2,32
Carboidrato Total (%)	1,82	1,77	1,75	1,78
Carotenóides (µg)	11,69	11,69	11,71	11,67
Energia (Kcal/100g)	95,20	91,75	91,70	93,08
pH	6,21	6,21	6,21	6,21
Acidez Total (mEq/100g)	0,10	0,15	0,20	0,21
Acidez Org. (mEq/100g)	79,70	79,73	79,61	79,68
Acidez Org. (mEq/100g)	14,50	14,73	14,75	14,67

Metodologia: - Métodos Físico-químicos para Análises de Alimentos - Instituto Adolfo Lutz - Edição IV, 2005
- (High & Low, 1999)

Fidelis Almeida de Sá
Fidelis Almeida de Sá
Tecnólogo em Alimentos

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
João Pessoa, PB - 53081-970
Fone: (33) 3366-1000 Fax: (33) 3366-1000
E-mail: tecnologia@ufpb.edu.br