

# **SECADOR SOLAR A BAIXO CUSTO PARA FRUTAS TROPICAIS**

**Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza**

Departamento de Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil,  
lguilherme@dem.ufrn.br

**Nilton Lúcio Fernandes da Silva**

Aluno de Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

**Vânio Vicente Santos Souza**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

**William Fernandes de Queiroz**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

**Bruno Alberto Sanchez y Sanches**

Aluno de Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

**Resumo.** Apresenta-se um secador solar de frutas, que pode ser de exposição direta ou indireta, confeccionado por um compósito de matriz cerâmica, utilizando gesso e isopor e reforço estrutural de tela de aço. Tal protótipo se caracteriza por seu baixo custo de fabricação e utilização de materiais largamente disponíveis em nossa região. Serão levantadas curvas de secagem para vários tipos de frutas tropicais, demonstrando a eficiência térmica do secador proposto e sua viabilidade de competitividade com os secadores solares convencionais disponíveis. Tal protótipo tem por objetivo maior a contribuição social para o combate a perecibilidade de frutas tropicais disponíveis em grande produção em nossa região, contribuindo para o combate a fome e a miséria nas populações mais carentes. Visa também contribuir para a diminuição dos desperdícios de frutas em feiras livre, centrais de abastecimento e supermercados.

## **1. INTRODUÇÃO**

O homem tem usado alimentos desidratados naturalmente por centenas de anos. A desidratação artificial, entretanto, data de cerca de dois séculos. Na desidratação artificial, uma fonte de calor, de combustíveis fósseis ou mais recentemente de energia elétrica, toma o lugar da exposição direta do alimento ao sol no campo.

Embora este seja um meio eficiente de conservação de alimentos, em muitos países os métodos utilizados na secagem ainda não atingiram o grau de desenvolvimento necessário à obtenção de produtos de boa qualidade. Grande parte dos alimentos desidratados é obtida por exposição direta ao sol, a céu aberto. Alguns países, principalmente os Estados Unidos, possuem grandes indústrias de desidratação de alimentos que usam geralmente gás natural ou óleo para a desidratação de frutas, castanhas, verduras e leite.

No Brasil, embora ainda em quantidade quase insignificante, os processos de desidratação são encontrados com maior freqüência na indústria de laticínios e na secagem de grãos e semente, sendo geralmente utilizados combustíveis fósseis, lenha e eletricidade como fonte de calor. Essa insipiente utilização de processos de desidratação entra em contraste com o alto índice de perda de alimentos, principalmente na zona rural. Segundo Santos(1995) cerca de 30% da produção agrícola no Brasil é desperdiçada por falta de por falta de processos adequados de conservação.

Para o combate a esse grave problema de desperdício de alimentos que poderiam ser aproveitados para minimizar os graves problemas sociais ligados à fome e a miséria, o uso da energia solar é imprescindível, pelas suas características de ser limpa, de grande potencial, largamente disponível em todo o Brasil, principalmente no Nordeste, região com maior índice de desigualdade social, e de fácil tecnologia de construção para os protótipos que transformam a energia solar em calor.

Neste trabalho apresenta-se um tipo de secador de exposição direta em convecção natural, construído a partir da utilização de materiais alternativos de baixo custo, fácil construção, baixo peso e de boa eficiência térmica. Trata-se de um protótipo de matriz cerâmica, obtido através da utilização de gesso, isopor e ferro e foi concebido para ser utilizado tanto a nível residencial urbano como rural, e também para comunidades rurais, neste caso assumindo dimensões muito maiores.

Serão apresentados dados da secagem de frutas tropicais, comparando-os com os relativos aos secadores convencionais geralmente construídos utilizando-se materiais metálicos. Também serão mostrados dados relativos à secagem de tomate.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A desidratação é o processo combinado de transferência de calor e massa no qual se reduz a disponibilidade de água de um alimento, aumentando o tempo de vida útil do mesmo, combatendo sua perecibilidade e seu desperdício.

As principais razões para a desidratação das frutas são: redução da sazonalidade, aumento do seu valor de mercado do produto, redução de sua deterioração, melhoria do transporte e armazenamento.

Os métodos de desidratação podem ser divididos em quatro tipos: por contato com ar quente; por contato com superfície quente, por liofilização; por adição de agentes osmóticos. No caso do presente trabalho a desidratação é obtida por contato com ar quente.

No processo de secagem identificam-se dois períodos característicos: o período de taxa de secagem constante ou quase constante e um período com taxa de secagem decrescente. O gráfico da Fig.(1) mostra a curva da taxa de secagem expressa pela variação de umidade do material em função do tempo de secagem.

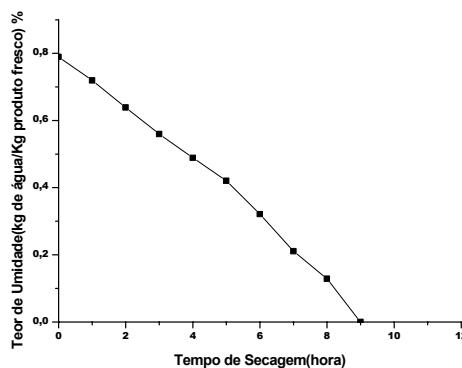


Figura 1. Curva de secagem para tomate em secador de exposição direta.

Os fatores mais importantes a serem considerados no processo de secagem de frutas são: pressão de vapor d'água, temperatura do ar, velocidade do ar, velocidade de difusão da água no produto e espessura e superfície disponível (Sena, 1997)

A secagem solar pode ser obtida através de dois processos; a secagem de exposição direta e a secagem de exposição indireta. No primeiro tipo de secado o alimento é exposto à radiação solar e por absorção de energia e em contato com um ar circulante a umidade se vaporiza na atmosfera; neste caso a circulação do ar pode ser natural ou forçada. No segundo caso, a secagem é obtida através do uso de um aquecedor solar de ar, que fornece ar quente a uma câmara de secagem

separada. Neste último caso outra fonte de calor pode ser usada conjuntamente com a energia solar na mesma unidade de secagem.

### **3. DESCRIÇÃO DO SECADOR DE EXPOSIÇÃO DIRETA CONSTRUÍDO**

É importante ressaltar que a utilização de um material compósito formado por dois elementos de baixa condutividade térmica, como o gesso e o isopor, propiciará ao secador um isolamento térmico adequado, evitando-se a utilização da lâ de vidro, universalmente utilizada em protótipos solares para este fim.

Construiu-se inicialmente a caixa interna, e em seguida as laterais e testas da caixa externa foram fixadas, estando todas as peças fixadas em uma estrutura de madeira para evitar o deslocamento das partes componentes do molde durante o processo de fabricação. Todos os componentes do molde receberam aplicação de um desmoldante, para facilitar o desgrudamento das mesmas após a secagem do produto. A caixa interna foi montada com o fundo voltado para cima tendo sido colocado um pouco acima do mesmo uma estrutura metálica constituída de ferros utilizados em construção de  $d = 6\text{mm}$  que também alcançava as laterais da caixa. A estrutura foi confeccionada utilizando-se uma grade formada por varões de ferro de espessura igual a 6 mm, unidos por arame.

No espaço entre as laterais interna e externa e acima da cobertura da caixa interna foi colocada uma mistura de isopor em flocos, gesso e água, na seguinte proporção: 1,0:1,0:1,0. Os flocos de isopor foram obtidos à partir de embalagens de eletrodomésticos trituradas em forrageira.

O compósito foi obtido através da utilização dos materiais descritos, quais sejam: gesso, isopor, água e grade de ferro. Colocava-se num recipiente de 20 litros o gesso, em seguida adicionava-se o isopor picado em pequenos flocos, misturando-se bastante para a obtenção de uma massa homogênea, e em seguida adicionava-se água, sempre mexendo a mistura resultante, obtendo-se uma produto bastante liquefeito, de baixa viscosidade. Após a obtenção das propriedades desejadas derramava-se o produto nos espaços entre as estruturas.

A espessura das paredes do secador foi correspondente a 4cm. Nas testas do secador foi colocada uma pequena parede para reforço da estrutura, uma vez que o secador precisa estar aberto para a entrada do ar em circulação natural.

A retirada do molde deu-se após 12 horas de secagem a céu aberto, sendo então retiradas as partes que compõem o molde. Em seguida o secador obtido, de comprimento igual a 1,5m e larguras interna e externa de 0,62m e 0,70m, respectivamente, foi colocado em uma estufa de secagem solar para a retirada do excesso de água, ficando exposto à radiação solar por um período de 72 horas.

Após a secagem do coletor proposto o mesmo recebeu uma aplicação de uma camada de resina ortoftálica para sua impermeabilização. Em seguida o secador foi pintado com tinta esmalte sintético preto fosco, para internamente aumentar o poder de absorção do secador e externamente contribuir para uma melhor impermeabilização.

Para a colocação dos frutos no secador foi confeccionada uma bandeja corrediça entelada para evitar o contato do produto posto a secar com as superfícies pintadas.

Finalmente colocou-se o vidro de cobertura do secador, estando o mesmo assentado sobre borrachas de vedação aderidas às suas paredes laterais.

### **4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

O secador foi ensaiado em regime de convecção natural, estando inclinado de 15,5°S, durante três dias para a secagem dos seguintes produtos: caju, abacaxi, banana, manga e tomate (Mujumdar, 1987; Ramos, 1997; Santos, 1995; Duffie&Beckman, 1991). O secador proposto encontra-se mostrado na Fig.(2)



Figura 2. Secador de exposição direta construído.

Para a obtenção dos parâmetros de secagem e do secador, realizou-se as seguintes medições: peso inicial da amostra, peso da amostra hora a hora, peso final da amostra, pesos inicial e final da quantidade total de amostras de cada produto colocadas no secador, radiação solar global, temperaturas internas e externas do coletor, temperatura ambiente temperatura de entrada e saída do ar e vazão do ar circulante. As medidas das temperaturas para avaliação do desempenho do secador solar proposto foram tomadas de meia em meia hora no período de 8:00 as 17:00horas, e as temperaturas para avaliação das perdas térmicas foram tomadas a cada quinze minutos no período entre 11:00 e 13:00horas.

Uma primeira secagem de caju e abacaxi foi realizada para análise da retirada total de umidade a partir do levantamento dos pesos inicial e final da carga total de cada fruta. Esse ensaio foi um pouco prejudicado em função das condições solares dos dias de secagem, uma vez que durante um dia o céu apresentou grande nebulosidade.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O primeiro teste realizado com o secador proposto, apresentou os resultados gerais, mostrados na Tab.(1). O teste iniciou-se no dia 10.01 as 8:00 h e encerrou-se no dia 12.01 as 17 h.

Tabela 1. Secagem de frutas para determinação do teor final de umidade.

FRUTA	PESO INICIAL(g)	PESO FINAL(g)
CAJU	1.640	226
ABACAXI	2.880	534

Considerando-se que as umidades iniciais do caju e abacaxi, são respectivamente 80% e 15% e 80% e 20%, a massa final de produto seco para cada fruta seria de 246g para o caju e 576g. Da análise dos resultados obtidos percebe-se que os valores de massa de produto seco finais obtidos para as frutas em teste, corresponderam a 14% para o caju e 18,5% para o abacaxi, que são valores muito próximos aos valores idéias considerados para cada fruta. Com relação ao tempo de secagem, como já foi dito o mesmo não pode ser comparado aos secadores convencionais pelas condições solares adversas para a realização do teste.

As Tabelas a seguir mostram os testes realizados com o secador proposto para os seguintes produtos: manga, abacaxi, banana e tomate. As cargas de cada produto foram: abacaxi – 1340g; tomate – 1160g; manga – 360g e banana – 600g. Foram escolhidas quatro amostras, uma de cada produto, para análise das umidades iniciais e finais, do teor de umidade e das massas finais de produto

seco para cada produto. Foram também realizadas medições das temperaturas interna e externa do secador e da radiação solar global para o cálculo de seu desempenho térmico.

As amostras de cada produto escolhidas tinham as seguintes massas iniciais:banana – 80g; manga – 40g; tomate – 60g e abacaxi -120g.

Tabela 2. Dados da Secagem de Tomate.

Carga de Secagem – 1.160 g  
 Umidade Inicial – 95%  
 Umidade Final -20%  
 Radiação Média Global – 0,65KW/m<sup>2</sup>  
 Massa de produto seco – 230g

T <sub>secagem</sub> (h)	Hora	M <sub>amostra</sub> (g)	T <sub>umidade</sub> (%)	U <sub>rel.</sub> (%)
0	10:40	60	0,7125	58
1	11:40	45	0,649167	56
2	12:40	35	0,576786	56
3	13:40	28,7	0,505287	56
4	14:40	24,7	0,440962	61
5	15:40	21,8	0,379564	62
6	16:40	18,6	0,289597	65
7	17:40	16	0,21055	70
8	07:40	14,5	0,1288	72
9	08:40	12	0	62
10	09:40	9,4	0	59
11	10:40	7,2	0	56

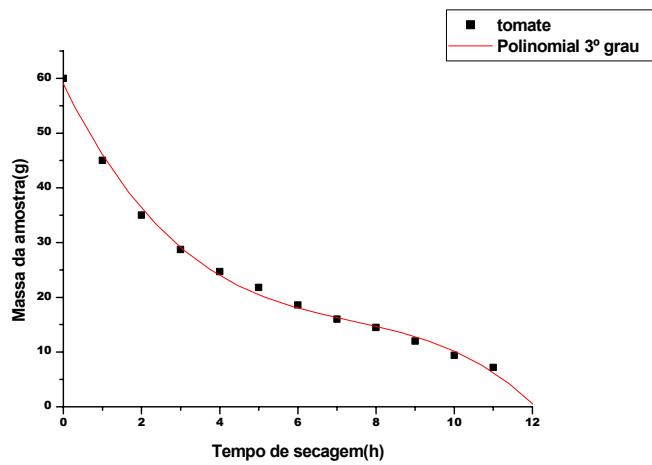


Figura 3. Gráfico da variação de massa do tomate em relação ao tempo total de secagem.

Da análise dos dados mostrados na Tab.(1), para o produto tomate, percebe-se que o tempo de secagem para a obtenção da umidade final de 20%, correspondeu a 09 horas de secagem de exposição direta, o que representa um tempo bastante curto para a obtenção do tomate desidratado.

**Tabela 3. Dados da Secagem de Manga.**  
**Carga de Secagem – 360 g**  
**Umidade Inicial – 80%**  
**Umidade Final -20%**  
**Radiação Média Global – 0,65KW/m<sup>2</sup>**  
**Massa de produto seco – 72g**

T <sub>secagem</sub> (h)	Hora	Mamostra(g)	Tumidade	U <sub>rel.</sub> (%)
0	10:40	40	0,75	58
1	11:40	33	0,69697	56
2	12:40	26	0,615385	56
3	13:40	21	0,52381	56
4	14:40	18	0,444444	61
5	15:40	17	0,411765	62
6	16:40	15	0,333333	65
7	17:40	13,7	0,270073	70
8	07:40	13	0,230769	72
9	08:40	12	0,166667	62
10	09:40	11	0,090909	59
11	10:40	10,1	0	56
12	11:40	9	0	56
13	12:40	8	0	55

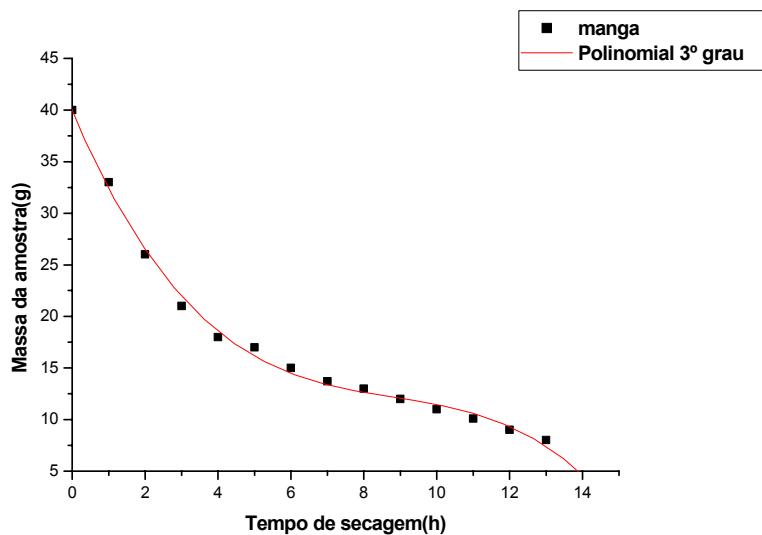


Figura 4. Gráfico da variação de massa da manga em relação ao tempo total de secagem.

Tabela 4. Dados da Secagem de Banana.

Carga de Secagem – 600g

Umidade Inicial – 80%

Umidade Final -20%

Radiação Média Global – 0,65KW/m<sup>2</sup>

Massa de produto seco – 120g

T <sub>secagem</sub> (h)	Hora	Mamostra(g)	T <sub>umidade</sub> (%)	U <sub>rel.</sub> (%)
0	10:40	80	0,75	58
2	12:40	60	0,666667	56
4	14:40	48,9	0,591002	61
6	16:40	46	0,565217	65
8	07:40	42	0,52381	72
10	09:40	38	0,473684	59
12	11:40	33	0,393939	56
14	13:40	27	0,259259	55
16	15:40	22	0,090909	56
18	17:40	19	0	62
20	08:40	17,5	0	65
21	09:40	16	0	58

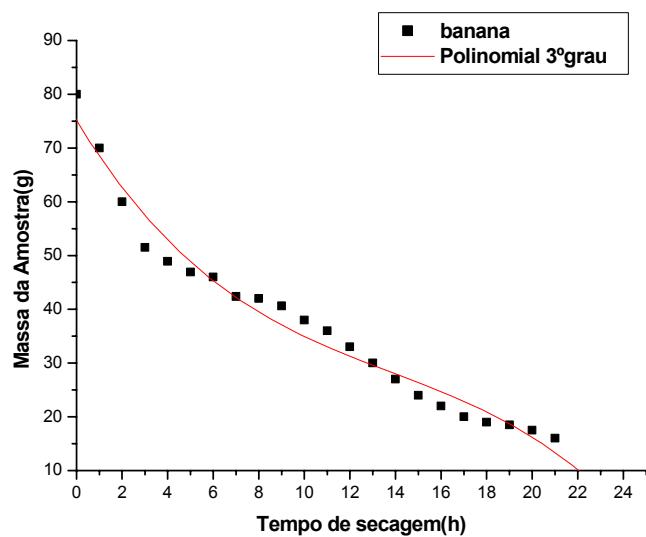


Figura 5. Gráfico da variação de massa da banana em relação ao tempo total de secagem

Tabela 5. Dados da Secagem de Abacaxi

Carga de Secagem – 1.340 g

Umidade Inicial – 80%

Umidade Final -20%

Radiação Média Global – 0,65KW/m<sup>2</sup>

Massa de produto seco – 268g

T <sub>secagem</sub> (h)	Hora	M <sub>amostra</sub> (g)	T <sub>umidade</sub> (%)	U <sub>rel.</sub> (%)
0	10:40	120	0,75	58
2	12:40	92	0,673913	56
4	14:40	81,3	0,630996	61
6	16:40	73	0,589041	65
8	07:40	69	0,565217	72
10	09:40	63	0,52381	59
12	11:40	55,2	0,456522	56
14	13:40	48	0,375	55
16	15:40	44	0,318182	56
18	17:40	42	0,285714	62
20	08:40	40,5	0,259259	65
22	10:40	34,5	0,130435	62
24	12:40	30	0	56
26	14:40	26	0	55
28	16:40	24	0	55

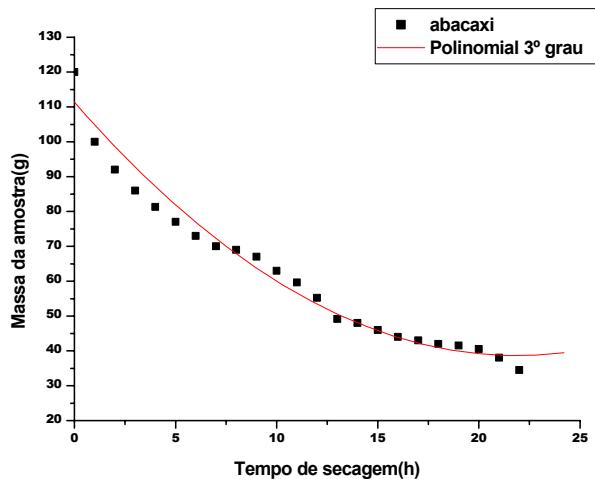


Figura 6. Gráfico da variação de massa do abacaxi em relação ao tempo total de secagem

Os dados mostrados nas tabelas apresentadas e seus perfis descritos pelos gráficos demonstram a eficiência do secador alternativo proposto, sendo os tempos de secagem compatíveis aos apresentados pelos secadores convencionais (Santos, 1995). Estes tempos de secagem que demonstram a ampla viabilidade de utilização do secador proposto para a secagem dos produtos em estudo estão mostrados na Tab.(6)

Tabela 6. Tempo de secagem dos produtos testados.

PRODUTO	TEMPO DE SECAGEM(h)
Tomate	9
Manga	13
Banana	21
Abacaxi	28

No que diz respeito aos níveis de temperatura obtidos no secador, os valores médios determinados encontram-se mostrados abaixo. Tais medidas foram realizadas no período de radiação praticamente constante, entre 11 e 13 horas.

Tempo (h)	T <sub>f</sub> (°C)	T <sub>vi</sub> (°C)	T <sub>ve</sub> (°C)	T <sub>li</sub> (°C)	T <sub>le</sub> (°C)	T <sub>f</sub> (°C)	T <sub>amb</sub> (°C)	T <sub>ar</sub> (°C)
11-13	62	49,7	40	54	39	40,5	34,5	57,4

Os valores medidos no interior do coletor demonstram a sua viabilidade térmica, quando comparado a outro coletor que já vem sendo utilizado há bastante tempo, sendo objeto de estudo em duas Dissertações de Mestrado ( Santos, 1997; Sena, 1997). Os valores de temperatura medidos são muito próximos aos obtidos neste citado coletor.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

1. O secador proposto mostrou-se viável nos campos térmico, econômico e de materiais;
2. O bom desempenho térmico do coletor pode ser comprovado pelo tempo de secagem obtido para cada produto, em consonância com os tempos mostrados pela literatura;
3. O custo de fabricação de tal secador é bastante baixo, em torno de R\$ 50,00, sendo de extrema competitividade com os secadores convencionais disponíveis;
4. A utilização do compósito para a fabricação do protótipo proposto permitiu a eliminação do isolamento térmico convencional;
5. O compósito utilizado para a fabricação do secador apresenta uma boa resistência ao impacto;
6. A tinta preta fosca utilizada no interior e exterior do secador concedeu-lhe impermeabilidade, uma vez que já se encontra há mais dois meses exposto as intempéries climáticas, principalmente a chuva, que no mês de janeiro, teve uma precipitação acima do normal;
7. Pretende-se construir uma câmara de secagem do mesmo material para que o secador possa trabalhar em regime de circulação forçada, em secagem indireta, para um maior controle do processo de desidratação;
8. Tenciona-se fabricar este tipo de secador através da utilização de fibras naturais a para confrontá-lo com o proposto por neste estudo;
9. O secador proposto é extremamente viável para utilização em zona rural. Para combate aos desperdícios, e perecibilidade, podendo ser construído em vários tamanhos, contribuindo para a geração descentralizada de produtos desidratados.

## 7. REFERÊNCIAS

Santos, T.S.N., 1997, Estudo Comparativo de Secadores Solares de Exposição Direta e Convectivo, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal.

- Sena, J.F., 1997, Secagem de Sementes de Algodão usando Coletor Solar Plano: Estudo Cinético e Térmico, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal.
- Ramos, C.M.P., 1997, Polpas de Frutas Tropicais Desidratadas em Leito de Jorro, Trabalho de Final de Curso de Engenharia Química da UFRN, Natal.
- Mujumdar, A.S., 1987, Advances in Drying, Vol 4, Hemispheren Publishing Corporation, Berlin.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991, Solar Engineering of Thermal processes, second edition, New York, John&Sons, & Beckman.

**Abstract.** *A solar drier of fruits is presented, that can be of direct or indirect exposition, made for a composite of ceramic matrix, using plaster and expanded polystyrene and structural reinforcement of steel screen. Such archetype if characterizes for its low cost of manufacture and use of wide available materials in our region. Curves of drying for some types of tropical fruits will be raised, demonstrating to the thermal efficiency of the considered drier and its viability of competitiveness with the available conventional solar dryers. Such archetype has for bigger objective the social contribution for the combat the deteriorate of available tropical fruits in great production in our region, contributing for the combat the hunger and the misery in the populations more poor. To intend also to contribute for the reduction of wastefulness of fruits in fairs free, central offices of supplying and supermarkets*