

# SECADOR SOLAR DE EXPOSIÇÃO DIRETA FABRICADO COM SUCATA DE LUMINÁRIA

Luiz Guilherme Meira de Sousa – lguilherme@dem.ufrn

Luiz Guilherme Vieira Meira de Sousa – [lguilherme\\_souza@hotmail.com](mailto:lguilherme_souza@hotmail.com)

Maria Kalionara de Freitas Mota – [kalionarafreitas@yahoo.com.br](mailto:kalionarafreitas@yahoo.com.br)

Ana Paula Nascimento Batista Vieira – [aluapanasmile@hotmail.com](mailto:aluapanasmile@hotmail.com)

Flávio Anselmo Silva de Lima – [flavioanselmo@yahoo.com.br](mailto:flavioanselmo@yahoo.com.br)

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica

**Resumo.** *Apresenta-se um secador solar de exposição direta para secagem de alimentos, construído a partir de uma sucata de canaleta para fios elétricos luminária, revestida com placas de EPS. O secador de exposição direta trabalha em regime de circulação natural de ar. Serão apresentados os processos de construção e montagem desse secador que permite a reutilização de materiais, constituindo-se assim uma opção ambientalmente correta de reciclagem. As principais características do secador proposto são seu baixo custo e simples processos de fabricação e montagem. Serão apresentados resultados de testes para secagem de alimentos atestando a viabilidade térmica e econômica do sistema alternativo de secagem solar proposto. Ressalta-se a importância social que tal aplicação representa para minoria populacional excluída, uma vez que o valor agregado a frutas, verduras, leguminosas e outros tipos de alimentos desidratados em relação ao in natura pode representar uma opção de geração de renda. O fruto secado foi o coco seco. A literatura solar de secagem de alimentos não apresenta referência em relação à secagem desse fruto, constituindo-se, portanto, esse estudo em algo inovador. Serão demonstradas as viabilidades térmica e econômica do secador proposto*

**Palavras-chave:** *Secagem solar, secador de frutas, baixo custo, reutilização de materiais.*

## 1. INTRODUÇÃO

O grande desafio do mundo é produzir alimentos para uma população que já ultrapassou os sete bilhões de habitantes. Uma vez que as áreas agricultáveis estão diminuindo, a oferta de água para irrigação é escassa e as tecnologias de produção já não conseguem dar mais saltos de produtividade, alguns especialistas acreditam que até nas próximas décadas a oferta de alimentos no mundo crescerá menos que a população.

O Brasil é uma exceção neste panorama e surge como uma das forças produtoras no terceiro milênio. Ele é um dos três maiores produtores de frutas do mundo. Sua produção superou 43 milhões de toneladas em 2008, o que representa 5% da produção mundial. Com esse saldo, o País fica atrás apenas da China e da Índia. Segundo o Instituto Brasileiro de Frutas (IBRAF) 53% da produção brasileira são destinados ao mercado de frutas processadas e 47% ao mercado de frutas frescas. Existe hoje um mercado externo potencial acessível à fruticultura brasileira de 28,3 milhões de toneladas.

Apesar da indiscutível necessidade de se aumentar a produção de frutas e ampliar as exportações, torna-se imprescindível reduzir as perdas que ocorrem em toda a cadeia produtiva. Nos países emergentes as perdas são estimadas em 50% para alguns produtos. Nossa realidade não é diferente, desde o produtor até o consumidor, a magnitude das perdas é considerável. Este fato evidencia a urgente necessidade de processos simples e baratos, que possam oferecer caminhos para conservar estes alimentos extremamente perecíveis (Souza et al., 2010).

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.

Um das possibilidades da aplicação da energia solar é a secagem de frutas. A secagem das colheitas por exposição solar direta exige que tenhamos suficiente radiação solar; baixa porcentagem de umidade ambiental; e ataque limitado de externos: insetos, pássaros, roedores, etc.

O homem tem usado alimentos desidratados naturalmente por centenas de anos. A desidratação artificial é bem mais recente. Na desidratação artificial, geralmente a energia elétrica toma o lugar da exposição direta do alimento ao sol no campo.

Em todo o mundo 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 frequência 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 Lima (2008) cerca de 30% da produção agrícola no Brasil é desperdiçada por falta de processos adequados de conservação.

As experiências efetuadas com as frutas expostas ao sol – céu descoberto, sobre lonas, madeiras, pisos, etc., deram resultados com baixo rendimento. Praticamente 70% a 80% das frutas se deterioram e a qualidade foi bastante inferior.

No sentido de combater a perecibilidade e o desperdício apresenta-se uma proposta de desidratação solar, capaz de agregar significativo valor ao produto final, utilizando um sistema de baixo custo, fáceis construção e montagem e que utiliza uma fonte energética limpa, extremamente disponível e ecologicamente correta.

O presente trabalho apresenta secadores solares produzidos a partir da utilização de sucatas de luminárias e material compósito obtido através da reutilização de materiais. Os secadores produzidos têm como principais características o baixo custo e fáceis processos de fabricação e montagem. Podem representar uma alternativa para a produção de alimentos propiciando a minimização da fome de comunidades carentes e, também, uma opção de geração de emprego e renda para essas comunidades a partir da fabricação e comercialização de farinhas.

O projeto ainda apresenta outra vertente importante dentro de uma política de combate à miséria, que é através do repasse da tecnologia de utilização do sistema de desidratação proposto oferecer uma oportunidade de geração de renda, através da comercialização das farinhas produzidas de custo muitas vezes maior que o produto in natura.

## 2. ESTADO DA ARTE DOS SECADORES SOLARES NO LMHES

A secagem de alimentos é uma das linhas de pesquisa mais estudadas no LMHES da UFRN, já tendo sido produzidos e estudados inúmeros tipos de secadores e sistemas de secagem nos últimos vinte e sete anos. A seguir são apresentados alguns desses estudos que se constituem em um estado da arte de secadores solares.

Neto em 2008 apresentou Dissertação de Mestrado no PPGEM-UFRN sobre um sistema de secagem solar para a produção de tomate seco que pode ser utilizado em convecção natural ou forçada. Provou-se que a secagem de tomate pode ser operacionalizada de forma direta e indireta, em secagem natural e forçada, porém apresenta maior viabilidade para a exposição direta em convecção natural. Para a configuração de trabalho mais eficiente a desidratação do tomate para uma umidade final de 20%, processou-se em apenas nove horas. A Fig. 1 mostra o sistema de secagem em convecção natural ou forçada para a secagem de tomate.



Figura 1. Sistema de secagem em convecção natural ou forçada para a secagem de tomate.

Costa em 2010 apresentou Dissertação de Mestrado no PPGEM-UFRN sobre um sistema de secagem solar para a desidratação de alimentos utilizando um secador de exposição direta que trabalhava em regime de circulação natural. Após seco o caju foi transformado em farinha por meio de um moinho de faca, e posteriormente, foi adicionada rapadura triturada para amenizar o sabor rançoso provocado pelo tanino. Foram atestadas as viabilidades térmica e econômica do sistema de secagem solar proposto enfocando o processo de produção da farinha e análises químicas para caracterizá-la. A Fig. 2 mostra o secador solar fabricado em teste e as farinhas produzidas a partir das frutas secas.



Figura 2. Secador solar fabricado em teste e as farinhas produzidas a partir das frutas secas.

Barbosa em 2011 apresentou Dissertação de Mestrado no PPGEM-UFRN sobre um secador solar de exposição direta para a secagem de alimentos, construído a partir de uma sucata de luminária. O secador de exposição direta trabalhava em regime de circulação natural. Foram testados dez alimentos entre frutas, legumes e verduras. Foi também estudado o processo de transformação de alguns dos alimentos secos em farinhas e demonstrado que os tempos de secagem para os alimentos testados foram competitivos e às vezes inferiores aos apontados pela literatura solar para desidratação de alimentos. A Fig. 3 mostra os alimentos em processo de secagem no secador e as farinhas produzidas.



Figura 3. Alimentos em processo de secagem no secador e as farinhas produzidas a partir das frutas secas.

Souza et al. em 2009 apresentaram no IX Congresso Iberoamericano de Ingenieria Mecânica nas Ilhas canárias na Espanha. Apresentaram um secador solar alternativo de baixo custo, que utilizava garrafas PETS como unidades de aquecimento. O secador trabalhava em regime de convecção natural e tinha área correspondente a 1,0 m<sup>2</sup>. Destinava-se a secagem de frutas tropicais disponíveis em nossa região. Foram apresentados resultados de testes realizados para a determinação do tempo de secagem de abacaxi e tomate. Uma contribuição importante desse protótipo é a reciclagem de garrafas PETS, de forma ambientalmente correta. A Fig. 4 mostra o secador solar fabricado com garrafas PETS.



Figura 4. Secador solar fabricado com garrafas PETS.

Souza et al. em 2011 apresentaram no 21° COBEM em Natal um secador solar construído a partir de um molde de sucata de luminária. Foi recoberta com um material compósito de baixa condutividade térmica, composto por EPS triturado, raspa de pneu, cimento, gesso e água. A secagem foi operacionalizada para frutas largamente disponíveis em nossa região. Foram apresentados resultados do procedimento de secagem para todas as frutas, demonstrando-se a eficiência de secagem para todos os produtos testados. Obtiveram-se tempos de secagem competitivos com os obtidos com outros secadores solares citados pela literatura solar para a desidratação de frutas. A Fig. 5 mostra o secador solar fabricado e m material compósito partir de sucatas de um molde de sucata de luminária.



Figura 5. Secador solar fabricado em material compósito partir de um molde de sucata de luminária.

Souza et al. no VII Conem 2012 em São Luís Souza et al. no VII Conem 2012 em São Luís apresentaram um secador solar de exposição direta para a secagem de alimentos fabricado do em material compósito, constituído de cimento, gesso, pneu triturado, EPS triturado e água. O secador de exposição direta trabalhava em regime de circulação natural. Foram apresentados resultados de testes para a secagem de pera e maçã que atestaram a viabilidade térmica e econômica do sistema proposto. Foi também estudado o processo de saturação do ar circulante no interior do secador. A Fig. 6 mostra o secador solar fabricado em material compósito.



Figura 6. Secador solar fabricado em material compósito.

Souza et al. no VII Conem 2012 em São Luís apresentaram um secador solar de exposição direta para a secagem de alimentos, construído a partir de uma sucata de luminária. O secador de exposição direta trabalhava em regime de circulação natural de ar. Foram apresentados resultados de testes para a secagem de morango atestando a viabilidade térmica e econômica do sistema alternativo de secagem solar proposto. O tempo de secagem para o morango foi de 10 horas e não foi possível a comparação com outros secadores, pois não foram encontrados na literatura resultados correspondentes a secagem de morango. A Fig. 7 mostra o secador solar fabricado a partir de uma luminária.



Figura 7. Secador solar fabricado a partir de uma luminária.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O secador solar de exposição direta proposto foi fabricado utilizando-se uma calha para colocação de fiação elétrica mostrada na figura 13. As dimensões externas e internas do secador corresponderam a: externas - C – 2,00 m, L - 0.26 m, H - 13 cm, Internas - C – 2,00 m, L - 0.20 m, H - 0.07 m. a área interna do secador correspondeu a 4 m<sup>2</sup> e seu volume interno foi 0,028m<sup>3</sup>. A inclinação do secador foi de 15.5 ° S. A Fig. 8 mostra os processos de fabricação e montagem operacionalizados. Os métodos de fabricação do secador oferece alternativas de baixo custo e são descritos abaixo.

Recobrimento externo e interno por placas de EPS de 30mm, utilizando cola; Colocação da chapa absorvedora do secador sobre a placa de EPS interna; Corte do vidro de cobertura do secador utilizando diamante profissional; Corte das placas de vidro onde os alimentos ficavam depositados dentro do secador; Pintura da chapa absorvedora utilizando tinta preto fosco; Pintura das placas de isopor externas utilizando tinta lavável amarela; Colocação das placas de vidro para deposição dos alimentos a secar; Colocação do vidro de cobertura utilizando cola silicone; Colocação do secador em um suporte metálico com inclinação de 15,5°S.

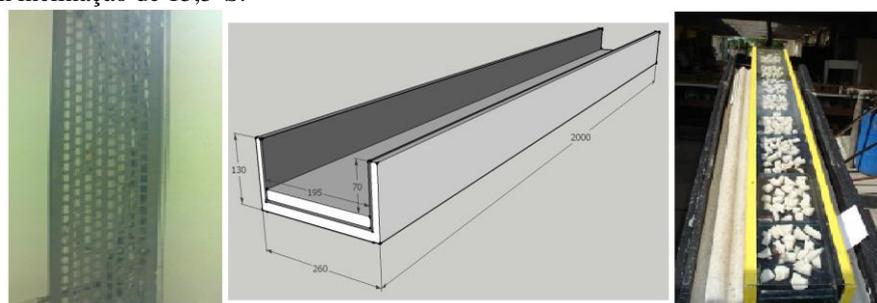


Figure 8. Processos de fabricação e montagem operacionalizados.

O secador de exposição direta foi ensaiado para secagem do coco seco em regime de convecção natural, sendo levantados dados de radiação solar global, umidade relativa do ar, temperatura ambiente e massas inicial e final de três amostras, localizadas próximo ao topo, ao meio e ao fundo do secador, a cada hora.

As massas das três amostras analisadas foram verificadas a cada hora decorrida de secagem numa balança analítica. A radiação solar global, a umidade relativa do ar e a temperatura ambiente, dados necessários para o estudo de eficiência térmica do secador, foram medidas por uma central meteorológica DAVIS Weather Envoy instalada no LMHES( Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar)/UFRN, que faz aquisição e envia para um computador a cada minuto. Após seca a carga de coco foi triturada em liquidificador convencional caseiro, sendo obtida a farinha de coco, que será mostrada posteriormente.

A eficiência do processo de secagem pode ser avaliada através das massas do produto a ser seco. A Eq. (1) apresenta os parâmetros necessários a essas determinações. A massa de líquido é função do percentual de umidade de cada produto *in natura*.

$$\eta_p = \frac{(m_{inicial} - m_{final})}{m_{\text{água}}} \quad (1)$$

Onde:

$\eta_p$  = rendimento do processo

m = massa

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram realizados testes com o sistema de secagem de exposição direta em convecção natural para a secagem do coco seco. A fruta não foi cortada uniformemente, porém teve-se o cuidado da massa das três amostras analisadas terem o mesmo peso. A disposição do fruto é mostrada na Fig. 9.



Fig. 9. Coco cortado depositado na bandeja de secagem.

O percentual de massa úmida do coco seco corresponde a **56,0%** de sua massa inicial, conforme aponta a literatura de desidratação de alimentos. A massa total do coco seco a secar foi de 1425 g. A amostra 1 ficava colocada no topo do secador, a amostra 2 no meio e a amostra 3 próxima no fundo do secador.

O início do teste se deu às 09h15min do dia 20/04/2012, tendo sido reiniciado às 09h10min do dia seguinte, 21/04/2012 e finalizado no dia 23/04/2012, com horário de início de testes às 09h00min. Após a primeira secagem, as amostras dos alimentos foram acondicionadas em um dissecador para a manutenção da umidade. O mesmo foi feito após a secagem do segundo dia.

A Tab. 1 apresenta os dados referentes às medições das massas das três amostras ( $M_{A1}$ ,  $M_{A2}$  e  $M_{A3}$ ) em gramas e as perdas horárias ( $Ph_{A1}$ ,  $Ph_{A2}$  e  $Ph_{A3}$ ) e totais ( $P_{A1}$ ,  $P_{A2}$  e  $P_{A3}$ ) em percentuais, todos relativos ao primeiro dia de secagem. As medições foram realizadas de hora em hora.

Tabela 1. Massas das amostras, perdas horárias e totais no primeiro dia de secagem.

Hora	$M_{A1}$ (g)	$Ph_{A1}$	$P_{A1}$	$M_{A2}$ (g)	$Ph_{A2}$	$P_{A2}$	$M_{A3}$ (g)	$Ph_{A3}$	$P_{A3}$
9:15	13,8	0	0	13,8	0	0	13,8	0	0
10:15	12,5	9,42%	9,42%	12,4	10,14%	10,14%	12,8	7,25%	7,25%
11:15	11,5	8,00%	16,67%	11,1	10,48%	19,56%	11,8	7,81%	14,49%
12:15	11,1	3,48%	19,56%	10,3	7,21%	25,36%	11,0	6,78%	20,29%
13:15	10,5	5,40%	23,91%	9,6	6,80%	30,43%	10,5	4,54%	23,91%
14:15	10,0	4,76%	27,54%	9,1	5,21%	34,06%	10,1	3,81%	26,81%

Nota-se que, ao final do primeiro dia de secagem, as amostras haviam perdido em torno de 30% da sua massa. Esse dado difere um pouco do resultado obtido com a pesagem da massa total ao final do primeiro dia, onde a perda de massa foi igual a 25,60%. Tal diferença é dada, provavelmente, por um índice de radiação maior nos locais onde foram localizadas as amostras analisadas.

A Tab. 2 apresenta os dados referentes às medições das massas das três amostras ( $M_{A1}$ ,  $M_{A2}$  e  $M_{A3}$ ) em gramas e as perdas horárias ( $Ph_{A1}$ ,  $Ph_{A2}$  e  $Ph_{A3}$ ) e totais ( $P_{A1}$ ,  $P_{A2}$  e  $P_{A3}$ ) em percentual, dessa vez em relação ao segundo dia de secagem. As medições foram realizadas de hora em hora.

Tabela 2. Massas das amostras, perdas horárias e totais no segundo dia de secagem.

Hora	$M_{A1}$ (g)	$Ph_{A1}$	$P_{A1}$	$M_{A2}$ (g)	$Ph_{A2}$	$P_{A2}$	$M_{A3}$ (g)	$Ph_{A3}$	$P_{A3}$
9:10	10,0	0,00%	27,54%	9,1	0,00%	34,43%	10,1	0,00%	26,81%
10:10	9,3	7,00%	32,61%	8,4	7,69%	39,13%	9,4	6,93%	31,88%
11:10	9,0	3,22%	34,78%	7,9	5,95%	42,75%	9,1	3,19%	34,06%

A perda de massa total neste dia de experimento ficou em torno dos 37%. Comparando, novamente, com o valor anterior, que foi de 32,28%, observamos a mesma pequena diferença entre o percentual de massa perdida nas amostras e no total de massa.

A Tab. 3 apresenta os dados referentes às medições das massas das três amostras ( $M_{A1}$ ,  $M_{A2}$  e  $M_{A3}$ ) em gramas e as perdas horárias ( $Ph_{A1}$ ,  $Ph_{A2}$  e  $Ph_{A3}$ ) e totais ( $P_{A1}$ ,  $P_{A2}$  e  $P_{A3}$ ) em percentual, dessa vez em relação ao segundo dia de secagem. As medições foram realizadas de hora em hora.

Tabela 3. Massas das amostras, perdas horárias e totais no terceiro dia de secagem.

Hora	$M_{A1}$ (g)	$Ph_{A1}$	$P_{A1}$	$M_{A2}$ (g)	$Ph_{A2}$	$P_{A2}$	$M_{A3}$ (g)	$Ph_{A3}$	$P_{A3}$
9:00	9,0	0	34,78%	7,9	0	42,75%	9,1	0	34,06%
10:00	8,2	8,89%	40,58%	7,1	10,13%	48,55%	8,5	6,59%	38,40%
11:00	7,9	3,66%	42,75%	6,8	4,22%	50,72%	8,2	3,53%	40,58%
12:00	7,0	11,39%	49,27%	6,2	8,82%	55,07%	7,5	8,54%	45,65%

A perda de massa total para as três amostras ficou em torno dos 50%, sendo a amostra 2 a que mais sofreu redução de massa. Em relação a massa inicial as amostras 1, 2 e 3 ficaram com percentuais de massa de 49,27%, 55,07% e 45,65%, respectivamente, que, quando comparado ao valor de 45,82% nos mostra, novamente, uma pequena diferença entre a massa total perdida entre as amostras e a massa total de alimento secado. A Fig. 10 mostra o comportamento da perda de massa das amostras ao longo do processo.

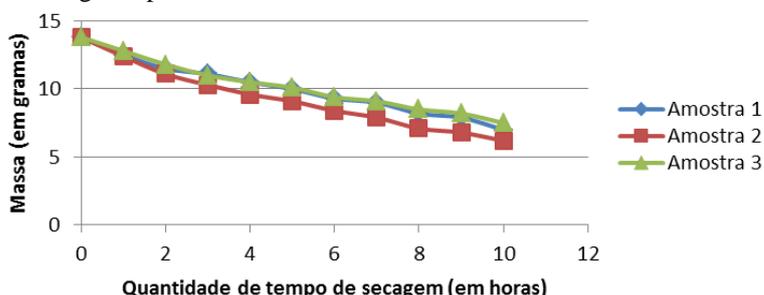


Figura10. Perda de massa total das amostras ao longo da secagem.

Percebe-se a não ocorrência da saturação do ar circulante no secador e que houve uma significativa perda de massa mesmo no período final de secagem, o que demonstra a eficiência do secador proposto. A Fig. 11 mostra o percentual de massa total perdida em cada hora, ou seja, mostra os valores de  $Ph$  para todas as amostras.

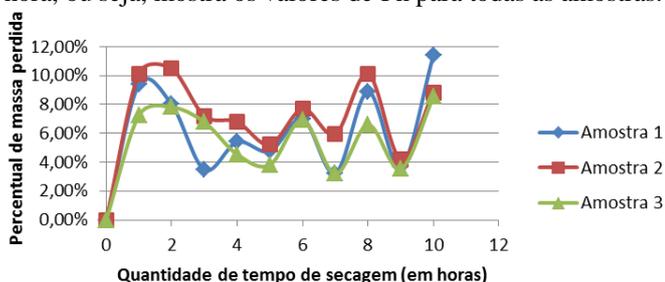


Figura11. Percentual de massa total perdida em cada hora.

A Figura12 mostra o percentual de massa total perdida ao longo de toda a secagem, com valores cumulativos, demonstrando assim os valores de  $P_{A1}$ ,  $P_{A2}$  e  $P_{A3}$ .

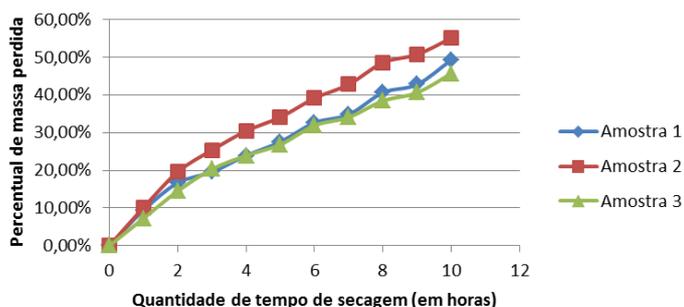


Figura12. Percentual de massa total perdida ao longo da secagem.

A abordagem anterior tratava da massa total, ou seja, o somatório da massa seca e da massa úmida presente no coco seco. Agora, em um segundo momento, deve ser analisado o comportamento da massa úmida durante o processo de secagem. Dessa forma, fica mais claro o potencial do secador e a eficiência do processo de secagem do fruto analisado.

Para tal, é necessário isolar a massa úmida da massa total. Sabendo que a umidade média do coco seco é de 56%, pode-se calcular a massa seca a partir desse dado. Como esta permanece constante durante todo o processo de secagem, a massa úmida será o resultante da massa total medida subtraída da massa seca constante. As Tabs. 4, 5 e 6 trazem os valores de massa total ( $M_A$ ) medidas em cada hora, e a massa seca ( $M_S$ ) e massa úmida ( $M_U$ ) calculadas a partir da massa total de cada uma das amostras, no primeiro, segundo dia, e terceiro dia, respectivamente.

Tabela 4. Massas totais, secas e úmidas das amostras ao longo do primeiro dia.

Hora	$M_{A1}$ (g)	$M_{SA1}$ (g)	$M_{UA1}$ (g)	$M_{A2}$ (g)	$M_{SA2}$ (g)	$M_{UA2}$ (g)	$M_{A3}$ (g)	$M_{SA3}$ (g)	$M_{UA3}$ (g)
9:15	13,8	6,072	7,728	13,8	6,072	7,728	13,8	6,072	7,728
10:15	12,5	6,072	6,428	12,4	6,072	6,328	12,8	6,072	6,728
11:15	11,5	6,072	5,428	11,1	6,072	5,028	11,8	6,072	5,728
12:15	11,1	6,072	5,028	10,3	6,072	4,228	11,0	6,072	4,928
13:15	10,5	6,072	4,428	9,6	6,072	3,528	10,5	6,072	4,428
14:15	10,0	6,072	3,928	9,1	6,072	3,028	10,1	6,072	4,028

Tabela 5. Massas totais, secas e úmidas das amostras ao longo do segundo dia.

Hora	$M_{A1}$ (g)	$M_{SA1}$ (g)	$M_{UA1}$ (g)	$M_{A2}$ (g)	$M_{SA2}$ (g)	$M_{UA2}$ (g)	$M_{A3}$ (g)	$M_{SA3}$ (g)	$M_{UA3}$ (g)
9:10	10,0	6,072	3,928	9,1	6,072	3,028	10,1	6,072	4,028
10:10	9,3	6,072	3,228	8,4	6,072	2,328	9,4	6,072	3,328
11:10	9,0	6,072	2,928	7,9	6,072	1,828	9,1	6,072	3,028

Tabela 6. Massas totais, secas e úmidas das amostras ao longo do terceiro dia.

Hora	$M_{A1}$ (g)	$M_{SA1}$ (g)	$M_{UA1}$ (g)	$M_{A2}$ (g)	$M_{SA2}$ (g)	$M_{UA2}$ (g)	$M_{A3}$ (g)	$M_{SA3}$ (g)	$M_{UA3}$ (g)
9:00	9,0	6,072	2,928	7,9	6,072	1,828	9,1	6,072	3,028
10:00	8,2	6,072	2,128	7,1	6,072	1,028	8,5	6,072	2,428
11:00	7,9	6,072	1,828	6,8	6,072	0,728	8,2	6,072	2,128
12:00	7,0	6,072	0,928	6,2	6,072	0,128	7,5	6,072	1,428

O gráfico da Fig. 13 mostra a perda de massa úmida das amostras ao longo da secagem. Com esses dados, é possível montar um gráfico que ilustre o decaimento da massa úmida ao longo do processo de secagem.

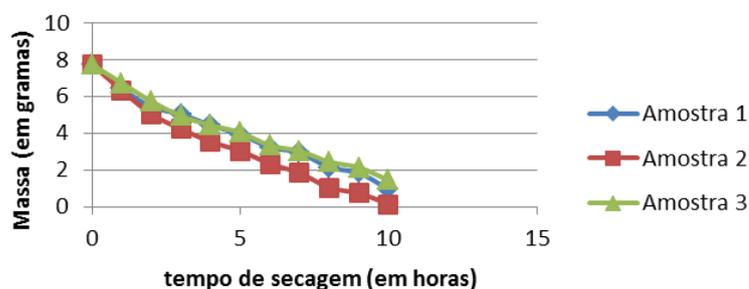


Figura 13. Decaimento da massa úmida das amostras ao longo da secagem

A partir dos valores das massas totais e úmidas das amostras, foram montadas as Tabs. 7, 8 e 9, que mostram o percentual de massa úmida perdida, em cada hora de cada um dos dois dias de secagem ( $\eta_{HA1}$ ,  $\eta_{HA2}$  e  $\eta_{HA3}$ ) e também o percentual de massa úmida perdida ao longo de toda a secagem ( $\eta_{A1}$ ,  $\eta_{A2}$  e  $\eta_{A3}$ ).

Tabela 7. Percentuais de massa úmida perdidas no primeiro dia de secagem

Hora	$\eta_{A1}$	$\eta_{HA1}$	$\eta_{A2}$	$\eta_{HA2}$	$\eta_{A3}$	$\eta_{HA3}$
9:15	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
10:15	16,82%	16,82%	18,11%	18,11%	12,94%	12,94%
11:15	29,76%	15,56%	34,94%	20,54%	31,70%	14,86%
12:15	34,94%	7,37%	45,29%	11,93%	36,23%	13,97%
13:15	42,70%	11,93%	54,35%	16,56%	42,70%	10,15%
14:15	49,17%	11,29%	60,82%	14,17%	47,88%	9,03%

Tabela 8. Percentuais de massa úmida perdidas no segundo dia de secagem

Hora	$\eta_{A1}$	$\eta_{HA1}$	$\eta_{A2}$	$\eta_{HA2}$	$\eta_{A3}$	$\eta_{HA3}$
9:10	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
10:10	58,23%	17,82%	69,88%	23,12%	56,94%	17,38%
11:10	62,11%	9,29%	76,34%	21,48%	60,82%	9,01%

Tabela 9. Percentuais de massa úmida perdidas no terceiro dia de secagem.

Hora	$\eta_{A1}$	$\eta_{HA1}$	$\eta_{A2}$	$\eta_{HA2}$	$\eta_{A3}$	$\eta_{HA3}$
9:00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
10:00	72,46%	27,32%	86,70%	43,76%	68,58%	19,82%
11:00	76,34%	14,10%	90,58%	29,18%	72,46%	12,35%
12:00	87,99%	49,23%	98,34%	82,42%	81,52%	32,89%

Nota-se o potencial de secagem do secador utilizado. No primeiro dia, em apenas 5 horas de secagem, a amostra 2 chegou a perder mais de 62% da sua umidade. Ao fim do segundo dia, essa mesma amostra havia perdido aproximadamente 93% da sua umidade, valores excelentes quando comparados aos valores que haviam sido propostos no início da secagem – deixar entre 15 e 20% de umidade. As amostras 1 e 3 ficaram dentro dessa porcentagem inicialmente proposta, confirmando que o processo de secagem foi eficaz para toda a extensão do secador. As Figs. 14 e 15 mostram o comportamento assumido pelos parâmetros analisados.

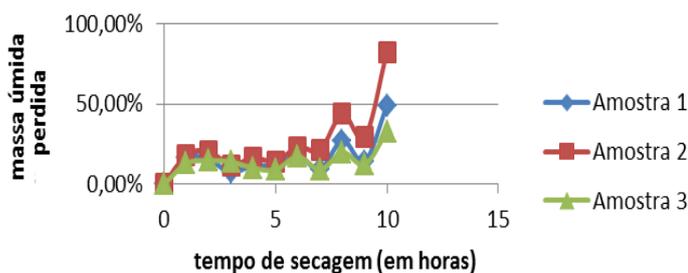


Figura 14. Percentual de massa úmida perdida em cada hora

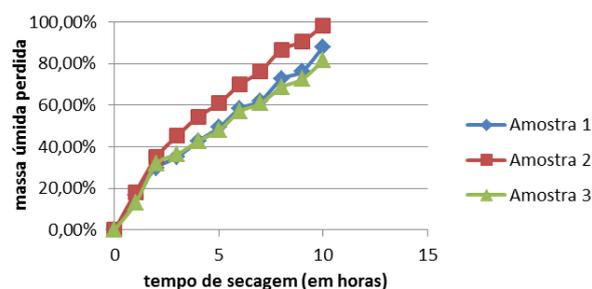


Figura 15. Percentual de massa úmida perdida ao longo da secagem

Outra análise deve ser feita para a carga total de coco colocada no secador. A Tab.10 apresenta os resultados dos parâmetros analisados.

Tabela 10. Dados gerais da secagem do coco.

	Início do 1º Dia	Início do 2º Dia	Início do 3º Dia	Fim do 3º Dia
Massa total (g)	1425	1060	965	772
Massa úmida (g)	798,00	433,00	338,00	145,00
Massa seca (g)	627,00	627,00	627,00	627,00

Com os dados da Tab. 10 pode-se determinar a perda de massa percentual e a perda de umidade percentual ao fim de cada dia, expostas na Tabela 11.

Tabela 11. Perdas de massa e umidade percentuais

	Perda de massa percentual	Perda de umidade percentual
Ao fim do 1º dia	25,60%	45,74%
Ao fim do 2º dia	32,28%	57,64%
Ao fim do 3º dia	45,82%	81,83%

O processo de secagem demonstrou-se eficiente, pois, provocou uma retirada acima de 80% da umidade do coco, que ficou com umidade residual final em torno de 18,8%, abaixo dos 20% recomendados pela literatura solar para desidratação de alimentos. Para essa umidade residual o coco apresentou boa possibilidade para ser transformado em farinha. O tempo de secagem total para o coco correspondeu a 11 horas, processadas em três dias de secagem, em função das condições climáticas e operacionais. As condições meteorológicas obtidas da central de aquisição de dados climáticos Davis encontram-se mostradas na Tab. 12.

Tabela 12. Média dos parâmetros durante ensaios

Parâmetro	DIA 1	DIA 2	DIA 3	MÉDIA
Tamb. (°C)	29,7	29,5	30,3	29,8
U (%)	77	78	73	76
Rad. Solar (W/m <sup>2</sup> )	780	780	820	793

Os parâmetros meteorológicos médios para os dias testados foram propícios para o processamento da secagem solar. Para todos os produtos testados a temperatura ambiente média ficou em 29,8°C, a umidade relativa média de 76% e a radiação solar global de 793 W/m<sup>2</sup>, condições bastante propícias para o processamento da secagem solar. Tais condições contribuíram significativamente para a eficiência do processo de secagem obtida pelo secador proposto. A Fig. 16 mostra a evolução do processo de secagem das frutas testadas.



Figura 16. Passas de coco e farinha de coco produzida.

Os resultados dos testes realizados demonstraram a viabilidade de utilização dos secadores construídos a partir de sucatas de luminária, podendo a carga dos produtos ser aumentada através da utilização de um maior número de módulos de secagem.

O tempo de secagem obtido, as umidades finais e as perdas de massa das amostras de coco seco estiveram compatíveis com o que aponta a literatura especializada em desidratação de alimentos.

Outro fator extremamente positivo no sistema de secagem apresentado é o seu baixo custo e facilidade de construção, podendo contribuir para a socialização da secagem solar como meio de geração de emprego e renda. Já se tem farinha produzida há mais de um ano e ainda apresenta bom sabor, podendo se constituir numa fonte nutritiva de alimento para comunidades carentes. Pode-se, também, utilizá-la para a fabricação de doces, bolos, tortas, mousses e sorvetes.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

De acordo com os objetivos definidos, apresentam-se as conclusões e sugestões para os próximos experimentos a serem desenvolvidos utilizando-se o secador solar proposto.

1. O secador proposto mostrou-se viável para produzir a secagem da fruta testada;
2. O processo de secagem por exposição direta mostrou-se eficiente, podendo produzir perda de massa compatível com o que aponta a literatura especializada em desidratação de alimentos;
3. O custo de fabricação do protótipo proposto é ínfimo, proporcionando uma relação custo/benefício competitiva com os secadores convencionais disponíveis;
4. Os processos de fabricação e montagem do secador proposto são simples, podendo ser facilmente repassados tecnologicamente;
5. O tempo de secagem obtido para o produto testado foi competitivo com o apontados pela literatura solar para desidratação de coco;
6. Os produtos obtidos na secagem já apresentam tempo de vida útil consideravelmente elevado, em relação ao produto *in natura*, mantendo seu bom aspecto, sabor e integridade;
7. O processo de trituração através de liquidificador residencial para transformação da passa de coco em farinha, é simples, econômico e propicia a obtenção de um produto de boa qualidade;
8. Apesar do baixo rendimento térmico do secador, inferior a 10%, o processo de secagem sempre se mostrou viável;
9. A fruta passa do coco e a farinha, produtos obtidos a partir da secagem do coco seco, apresentaram bom sabor, constituindo-se em alimentos ideais para uma sobremesa nutritiva e light;
10. Deve-se tentar a secagem para cocos com baixo grau de maturação, para testar sua viabilidade de secagem, pois podem ser mais propícios para alguns dos alimentos a ser produzidos;
11. Demonstrar a capacidade de secagem de outros gêneros alimentícios, tipo peixes, camarão, carnes e outros, e avaliar a eficiência do secador solar proposto;
12. Fazer uma análise nutricional dos produtos secos e das farinhas produzidas;

## REFERÊNCIAS

- Costa, A.R.S., 2003, Utilização de Processo Osmótico, seguido de secagem para a obtenção de tomate parcialmente desidratado, Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia mecânica da UFPB, João Pessoa, Pb.
- Costa, A.R.S., 2008. *Sistema de secagem solar para frutos e modelagem da secagem de banana em um secador de coluna estática*, Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFRN, Natal, RN.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991, *Solar Engineering of Thermal processes*, second edition, New York, John&Sons, & Beckman.
- EMBRAPA – 2000, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, *Tomate para processamento industrial*, Brasília, DF.
- Fioreze, R., 2003, *Princípios da Secagem de Produtos Biológicos*. João Pessoa, Editora da Universidade Federal da Paraíba - UFPB.
- Meloni, P.L.S., 2002, Manual de produção de Frutas Desidratadas, Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria – Frutal/ Sindicato dos Produtores de frutas do Estado do Ceará – Sindifruta.
- Neto, H. J. L., 2008, Obtenção de tomate seco através do uso de um sistema solar alternativo de baixo custo, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal.
- Souza et al, 2007, *Obtenção de tomate seco utilizando um sistema de secagem solar construído com materiais alternativos*, 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Cusco, Peru.

## SOLAR DRYER DIRECT EXPOSURE MODELS WITH SCRAP LAMP

**Abstract.** *Presents a solar dryer of direct exposure to food drying , built from scrap a channel for electrical fixture wires , coated with EPS boards. The direct exposure dryer working on a natural circulation of air. The processes of building and assembling this dryer that allows reuse of materials will be presented, thus constituting an environmentally sound recycling option. The main features of the proposed dryer are its low cost and simple manufacturing processes and assembly. Test results for food drying attesting thermal and economic feasibility of alternative solar drying system proposed will be presented. Emphasize the social importance that such application is for excluded minority population, since the value-added fruits, vegetables , legumes and other dehydrated foods in relation to in natura may represent an option for income generation . The dried fruit was dried coconut. Solar food drying literature shows no reference regarding this fruit drying, constituting therefore this study into something innovative. Thermal and economic viability of the proposed dryer will be demonstrated.*

**Key words :** *Solar drying of fruit dryer, low cost , reuse of materials.*