

CONSTRUÇÃO DE SECADOR SOLAR UTILIZANDO MATERIAIS RECICLÁVEIS

Caio Vitor Marcio Araújo¹, Fabiana Karla De Oliveira Martins Varella Guerra²

1 – Autor (a); 2 – Orientador (a)

Resumo: Neste trabalho apresenta-se um secador solar para secagem de alimentos de exposição direta em regime de convecção natural, construído a partir do reaproveitamento de sucata de janela metálica. Serão apresentados seus processos de construção e montagem que permite a reutilização de materiais. Suas principais características são seu baixo custo e processo simples de construção. Sua implementação em regiões de clima quente e árido é bastante proveitosa devido à alta incidência solar presente nessas localidades, como é o caso do semiárido potiguar. Este tipo de tecnologia traz benefícios aos alimentos com alto grau de perecibilidade, aumentando sua durabilidade e auxiliando em questões de armazenamento e transporte. Para a verificação do desempenho do secador solar proposto foram realizados testes para a secagem de frutas, tais como, abacaxi, banana pacovan, maçã e tomate, e realizados comparações com outros trabalhos desenvolvidos na área. Os resultados mostraram bom desempenho do protótipo e confirmaram a viabilidade do sistema confeccionado.

Palavras-chave: secagem; desidratação; secador solar; energia solar.

1. INTRODUÇÃO

O Semiárido é caracterizado por vulnerabilidade climática, escassez de recursos hídricos, com 60% dos solos de baixa fertilidade, e a Caatinga é a vegetação predominante. Nessa região, mais de seis milhões de pessoas lidam com atividades agrícolas, em propriedades predominantemente de base familiar, com tamanho médio de 14 hectares, que representam cerca de 35% do número de estabelecimentos rurais do Brasil [1].

Em um cenário de escassez de recursos é imprescindível reduzir as perdas que ocorrem em toda a cadeia produtiva. Nos países emergentes as perdas são estimadas em 50% para alguns produtos. A realidade do Brasil 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 [2].

A energia proveniente do Sol vem sendo aproveitada pelo homem ao longo de toda sua história. Através dela, por exemplo, são supridas necessidades básicas de aquecimento, iluminação e alimentação (via fotossíntese e cadeias alimentares) [3]. O aproveitamento desta energia tanto como fonte de calor, quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras quando se trata de enfrentar os desafios do desenvolvimento sustentável. A energia solar é abundante, renovável e em sua geração não polui e nem prejudica o ecossistema. Sendo assim, é considerada uma solução viável e atrativa nas áreas afastadas e ainda não eletrificadas, especialmente no Brasil onde se encontram elevados índices de insolação em qualquer parte do território [4]. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2500 kWh/m²) são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha (900-1250 kWh/m²), França (900-1650 kWh/m²) e Espanha (1200-1850 kWh/m²), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados [5].

Uma das aplicações da energia solar é secagem de alimentos, onde a energia solar é convertida em energia térmica. Este tipo de aplicação é importante tanto para o meio ambiente como para o setor socioeconômico, pois através da secagem dos alimentos se torna possível obter a conservação do mesmo por um tempo maior, proporcionando ao pequeno produtor rural redução da perda de material excedente de sua produção e o aumento do valor agregado ao produto.

De todo exposto, o objetivo desta pesquisa é construir e analisar o desempenho de um secador solar (SS) de baixo custo, instalado na cidade de Mossoró/RN, a partir da utilização de materiais reciclados, ou seja, não convencionais com o intuito de torná-lo mais acessível, utilizando o conhecimento adquirido nos protótipos desenvolvidos por [6], [7] e [8]. As frutas foram expostas no protótipo de secador solar com corte laminar de aproximadamente 4 mm, a partir disso realizou-se coletas periódicas no equipamento, de dados de irradiação solar,

massa das frutas antes, durante e depois da secagem, temperatura interna, externa e temperatura de entrada e saída de ar, do protótipo. Posteriormente, os resultados obtidos serão avaliados e comparados aos protótipos desenvolvidos em [6], [7] e [8], com a finalidade de verificar a viabilidade do sistema em questão.

2. SECADOR SOLAR

Secagem é a operação por meio da qual a água ou qualquer outro líquido é removido de um material sólido, na forma de vapor, por meio de um mecanismo de vaporização térmica, em uma temperatura inferior à de ebulição da água. Sua cinética, ou seja, a rapidez com que o alimento perde massa de água, é controlada pelas características da matriz do alimento e por variáveis como, temperatura, velocidade e umidade relativa do ar [9]. A umidade de equilíbrio é atingida quando o alimento é deixado por tempo suficientemente longo em determinada condição de temperatura e umidade relativa do ar que o envolve. Nessa condição, a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é igual à pressão parcial de vapor de água contida no ar [10].

A secagem ou desidratação tem por objetivo reduzir o conteúdo de água da fruta ou vegetal, de 60% a 90% para 8% a 10%, interrompendo o processo natural de deterioração biológica, atividades bacterianas, transformação enzimática e oxidação, preservando suas principais características nutricionais e organolépticas como: cor, aroma, sabor e textura, por um período muito maior de tempo e facilitando seu armazenamento [11].

As frutas desidratadas por meio da secagem são divididas em dois grupos: frutos secos oleaginosos e frutas secas. Os frutos secos oleaginosos são as sementes, como: amêndoas, castanha do Pará, macadâmia, nozes, etc. Como exemplo de frutas secas, pode-se citar: damasco, uva, banana, abacaxi, tomate, maçã, ameixa, figo, tâmaras, entre outras. Além de possibilitar uma alimentação mais rica e o aproveitamento das frutas da região, a desidratação pode gerar renda com a venda do excedente da produção [11].

Existem diversos métodos para desidratação de alimentos, onde o método de escolha depende do tipo de alimento a ser desidratado, do nível de qualidade que se deseja obter e da viabilidade financeira em questão. A técnica utilizada primordialmente, era a secagem por exposição direta em meio ao ambiente a céu aberto sem nenhuma proteção, que trouxe problemas como, por exemplo, a contaminação dos produtos pela ação de fungos e microrganismos e também pelo surgimento de insetos.

Entre os diferentes sistemas de secagem, podem ser citados os secadores mecânicos e o secador solar. Nos secadores mecânicos a energia usada, para o aquecimento do gás (ar) de secagem, é oriunda da queima de lenha, de combustíveis fósseis ou ainda pelo uso de eletricidade. Os secadores elétricos, encontrados como os mais acessíveis no mercado dentre os secadores mecânicos, em modelos de menor porte com aplicação domiciliar ou de grande porte com aplicação industrial, possui normalmente uma resistência elétrica que esquentar devido ao efeito Joule, aliado a um fluxo de ar gerado por ventoinha. Consequentemente, o fluxo de ar presente no interior do dispositivo aquece, retirando a água dos alimentos dispostos. Embora possa ser mais rápido que o secador solar, dependendo principalmente da potência, este desidratador exige a disponibilidade de uma alimentação elétrica, gerando maiores custos de operação. Como exemplo, encontrado no mercado nacional, o desidratador de alimentos elétrico como mostra a Figura 1, marca *Meloni*[®], modelo Pratic Dryer, com potência de 250 W e uma área útil de secagem de 0,42 m², custa R\$ 795,00 [13].



Figura 1. Secador/desidratador elétrico de alimentos *Meloni*[®]. [13]

Já no secador solar, a energia é proveniente diretamente do sol. O secador solar, ao contrário dos mecânicos, usa energia térmica renovável e de baixo custo na desidratação das frutas. Além disso, a energia solar é considerada como fonte limpa visto que não libera poluentes na atmosfera. O uso da energia solar em substituição às fontes de energia convencionais na desidratação de frutas em empreendimentos agroindustriais pode ter consequências favoráveis tanto em termos econômicos e ambientais quanto de inclusão social, pois permite maior participação de pequenos produtores no processamento industrial de frutas [12].

Os métodos de desidratação podem ser divididos em quatro tipos: por contato com ar quente; por contato com

superfície quente; por liofilização e por adição de agentes osmóticos [14]. Utilizando o princípio de secagem por contato com ar quente, 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 secagem, o alimento é exposto à radiação solar e por absorção de energia e em contato com um ar quente natural ou forçado, a umidade se vaporiza na atmosfera. 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 [15].

Em relação a circulação de ar no interior do secador solar, ainda existem duas classificações. Convecção natural de ar, onde a circulação ocorre simplesmente pela diferença de temperatura do ar contido no interior do dispositivo e a convecção forçada que ocorre quando se utiliza algum meio artificial (uso de ventiladores ou bombas) para aumentar o fluxo de ar no sistema. No caso do presente trabalho, a desidratação ou secagem é obtida por contato com ar quente através da secagem solar de exposição direta em regime de convecção natural [16].

Na UFRN em Natal/RN, [2] construíram e estudaram dois tipos de secadores de exposição direta e indireta, em regime de circulação natural e forçada, construídos em alvenaria e material compósito. Realizaram secagem de diversos frutos, manga, caju, banana, abacaxi e tomate. [16] utilizou um sistema de secagem solar de exposição direta em regime de convecção natural de baixo custo para obter farinha a partir de frutas e legumes, como caju e beterraba, reutilizando raspa de pneu como isolante térmico para o secador solar. [15] e [17] também na cidade de Natal/RN, construíram protótipos de secador solar de exposição direta a partir de sucatas de luminárias. Os trabalhos demonstraram as viabilidades térmica, econômica e de materiais dos sistemas de secagem.

Outros três trabalhos realizados por [6], [7] e [8], concluintes do curso Ciência e Tecnologia na UFERSA e orientados pela Prof.^a Dr.^a Fabiana Karla, construíram um secador solar de baixo custo com o objetivo de analisar seu desempenho na cidade de Mossoró/RN. Inicialmente o secador solar foi construído por [6], posteriormente melhorado por [7] e [8]. Com uma área útil de secagem de 0,2015 m², o custo do secador solar incluindo a confecção e acréscimo da modificação no protótipo do último trabalho, realizado por [8], foi aproximadamente R\$ 185,00, sem considerar o custo do vidro de cobertura que foi doado pela UFERSA. Na Figura 2 mostra o secador solar na fase adaptada por [7]. Em consonância, o presente trabalho dá prosseguimento a mesma linha de pesquisa de construir um secador solar de baixo custo.



Figura 2. Secador solar de exposição direta. [6], [7] e [8]

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, serão apresentadas as informações referentes ao local da pesquisa; os processos de construção e montagem do secador solar (SS) desenvolvido utilizando material reciclável; os instrumentos de medição utilizados para coleta de dados; e por fim, os métodos aplicados para as coletas de dados.

3.1. Caracterização da cidade de Mossoró/RN

Mossoró é uma cidade do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. As coordenadas geográficas são latitude 5° 11' 15" Sul, longitude 37° 20' 39" Oeste, e altitude 16 metros acima do nível do mar. Está situada à 285 km da capital Natal/RN, e possui clima tipo quente e semiárido. A cidade tem temperaturas médias anuais de máxima 36,0 °C, média 27,4 °C e mínima 21,0 °C, e umidade relativa média anual de 70% e 2.700 horas de insolação anual [18].

A precipitação pluviométrica mensal é bastante variável ao longo do ano, sendo fevereiro, março e abril o trimestre mais chuvoso, com totais mensais médios oscilando entre 102,8 e 167,9 mm, enquanto que o período mais seco compreende os meses de setembro, outubro e novembro com a média mensal entre 1,9 e 4,9 mm [19].

3.2. Construção do secador solar

Considerando a facilidade de construção e baixo custo para que o projeto tenha viabilidade para o objetivo em questão, a estrutura principal do secador solar confeccionado foi obtida através do reaproveitamento de materiais

descartados. Para o presente trabalho, essa estrutura foi obtida por meio de uma janela de aço galvanizado e alumínio, encontrada e adquirida em ferro velho na cidade de Mossoró-RN, material ainda este, encontrado em grande quantidade, o que poderia fornecer facilmente estrutura para construção de uma ampla quantidade de secadores solares. O vidro também reaproveitado, utilizado na cobertura do secador solar, foi adquirido no mesmo local por um preço abaixo do mercado.

O secador solar (SS) confeccionado, conforme informado anteriormente, possui sua estrutura principal através do reaproveitamento da janela com esquadrias de aço galvanizado e rótulas basculantes em alumínio, com medidas internas de comprimento, largura e altura, de 100 cm, 71,5cm e 7cm, respectivamente, totalizando uma área útil de exposição para os alimentos de 0,715m². As rótulas basculantes originalmente móveis foram fixadas com arame para serem usadas como o assoalho do SS, em seguida foram realizados dois cortes, de 30 cm (comprimento) x 3,5cm (largura) nas laterais longitudinais do SS e servirão para permitir a entrada e saída de ar no protótipo, auxiliando a secagem das frutas. As dimensões da estrutura do SS estão representadas de acordo com a Figura 3.

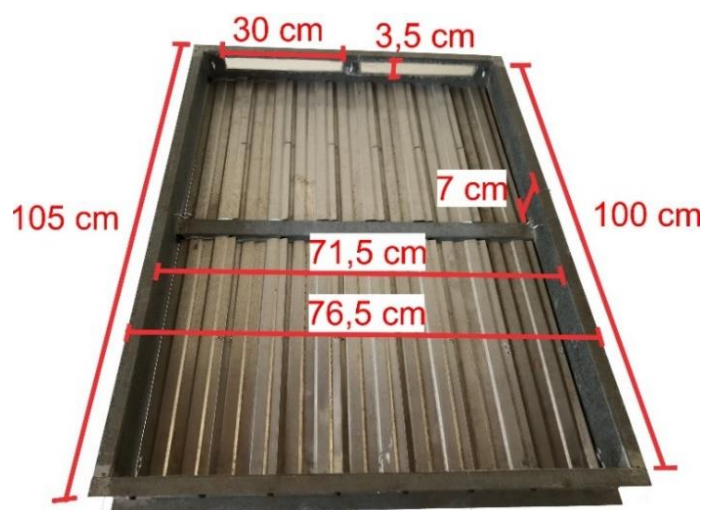


Figura 3. Dimensões da janela utilizada como estrutura para o secador solar reciclável. (Autoria própria)

A estrutura foi pintada com tinta *spray* para estruturas metálicas na cor preto fosco com intuito de potencializar a absorção da energia solar. Em seguida foi fixado isopor com 10mm de espessura na parte inferior da estrutura, que foi utilizado como isolante térmico, além de uma cobertura transparente de vidro com espessura de 4mm. Para a suspensão das frutas no protótipo, com intuito de evitar o contato e consequentemente a contaminação dos alimentos com a tinta além de permitir uma maior área de contato do alimento com o ar, foi utilizada uma tela de *nylon* suspensa e fixada nas laterais da estrutura. Para erguer o protótipo do chão, foi reutilizado um suporte de mesa de jantar, podendo ser usado outros tipos de suporte encontrado, apenas com a finalidade de melhorar a ergonomia durante manuseio do protótipo e evitar a presença de insetos rastejantes, o que ainda para este último, pode-se melhorar como descrito por [8] utilizando garrafas plásticas cortadas e preenchidas com água com o intuito de evitar o acesso de insetos diversos ao interior do secador solar. A Figura 4 mostra o resultado final do protótipo e o custo total exposto na Tabela 1.

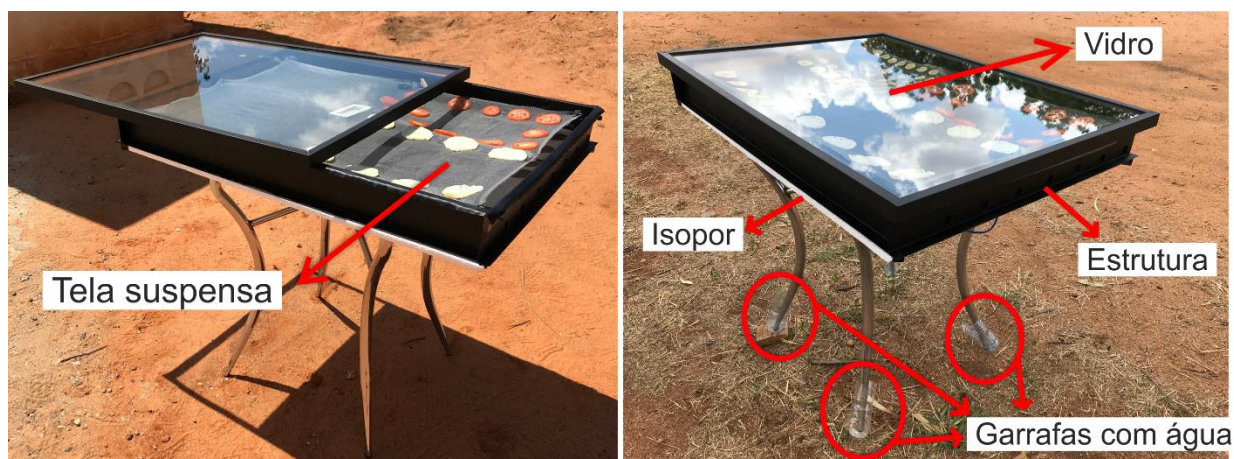


Figura 4. Montagem completa do secador solar proposto. (Autoria própria)

Tabela 1. Custo da confecção do protótipo. (Autoria própria)

Descrição	Valor (R\$)
Janela de aço galvanizado + vidro 4mm*	50,00
Mão de obra corte do serralheiro	10,00
Corte do vidro com adição de moldura	40,00
Tinta <i>spray</i> preto fosco	10,00
Tela de <i>nylon</i>	5,00
Isopor 10mm	4,00
Suporte**	-
TOTAL	119,00

Nota: *Materiais reaproveitados adquiridos em ferro velho local.

**Material reaproveitado.

3.3. Instrumentos e coleta de dados

Com o objetivo de verificar o desempenho do secador, foram realizados dois experimentos próximo ao Laboratório de Engenharias I da UFRSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, na cidade de Mossoró-RN, em uma área aberta com exposição direta ao sol durante todo o dia e bastante ventilação. O experimento 1 foi realizado sem adição da camada de tinta preta à estrutura, enquanto o experimento 2 já em sua versão final como descrita no tópico 3.2, foi adicionada a camada de tinta preto fosco à estrutura para verificar sua influência no desempenho.

No primeiro experimento os alimentos dispostos para secagem foram, o abacaxi com casca, banana pacovan sem casca, tomate com casca e maçã com casca, fatiados com cerca de 4mm. No segundo experimento foram utilizados para secagem, o abacaxi sem casca, banana pacovan sem casca, tomate com casca e maçã com casca, fatiados também com cerca de 4mm. Ao final de cada dia de secagem, as frutas foram guardadas em recipientes fechados para evitar a deterioração das mesmas.

As análises e coletas de dados do secador solar proposto foram realizadas durante um período de quatro dias consecutivos no mês de dezembro de 2018, entre os dias 18/12/2018 à 21/12/2018, sendo os dois experimentos divididos em 2 dias cada. O secador solar foi direcionado para o norte geográfico e inclinado 5°, como indicado pela literatura, e, as entradas e saídas de ventilação foram postas na mesma direção do vento.

A radiação solar foi mensurada através do medidor de radiação solar modelo MES-100 da fabricante Instrutherm, que foi disposto na mesma posição do secador solar. Com o alicate wattímetro digital modelo ET-4090 da fabricante Minipa, em sua função de termômetro e acoplado ao termopar tipo K, foram aferidas as temperaturas em dois locais do secador solar proposto, a saber, nas entradas e saídas de ar. Com sensores de temperatura e umidade DHT11 do fabricante *Keyestudio* em conjunto com um *datalogger*¹, foram registradas as temperaturas interna e externa (ambiente) ao secador solar com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$. As massas das frutas foram mensuradas por uma balança digital modelo SF-400 com precisão de $\pm 1\text{g}$.

O teor de água corresponde à relação percentual entre a massa de água presente e a massa total do produto. Os valores de massa de água utilizados na Tabela 2 foram obtidos de acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) [20].

Tabela 2. Percentual de massa de água dos alimentos. [20]

Alimento	Massa de água (%)
Abacaxi, cru	87
Banana, pacovan crua	78
Banana, prata crua	72
Maçã, crua	85
Tomate, cru	96

Os dados de massa de água fornecidos na Tabela 2 foram utilizados para calcular o percentual de água retirado das frutas secas após realizados os experimentos, de acordo com a equação 1.

$$Pu = \frac{[(Mi - Mf) \times 100]}{Mi \times \beta} \quad (1)$$

Onde, Pu é a perda de massa de água em porcentagem, Mi é a massa total inicial da fruta, Mf é a massa final da fruta e β é o percentual de massa de água de acordo com a Tabela 2. Os resultados desejáveis deverão se

¹Datalogger é um dispositivo eletrônico que registra dados ao longo do tempo, seja por instrumentos ou sensores externos acoplados.

enquadrar na classificação de frutas secas ou dessecadas de acordo com a Resolução [21] da Agência de Vigilância Sanitária, ANVISA, que limita em 25 % de teor de água nos alimentos para serem considerados secos ou desidratados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Previamente ao início do experimento definitivo, na semana anterior (do dia 13/12/18 ao dia 16/12/18), foram realizados testes preliminares para avaliar o desempenho esperado do secador solar proposto e corrigir eventuais falhas no protótipo confeccionado. Inicialmente na construção do SS, as telas de proteção contra insetos nas entradas de ar foram fixadas com cola de silicone comum, seu comportamento não se saiu como esperado devido à alta temperatura obtida da estrutura de metal ocasionando o desprendimento do silicone. As telas foram removidas e fixadas com fita dupla face onde se obteve a fixação desejável. Neste caso, não foram contabilizados ao custo do protótipo, pois existem métodos alternativos diversos que podem ser implementados ou reaproveitados, tais como, rebites, parafusos ou silicones para altas temperaturas. Outro fator observado no experimento refere-se à isolamento térmica utilizando poliestireno expandido (isopor). Nos testes preliminares o isopor de 10 mm foi fixado no assoalho ao interior do SS, e o resultado ao final dos testes foi a deformação parcial do mesmo, ocasionando obstrução ao manuseio das frutas no interior do SS. Esse problema foi corrigido posicionando o isopor no assoalho ao exterior do SS.

O isopor como já dito foi posicionado ao exterior da estrutura para evitar a deformação do mesmo, eliminando o risco de contaminação do alimento inserido no SS. A tela de suporte para suspensão das frutas recomendável por questões de higiene, seria tela de viveiro, atentando para manter as condições de uso sem presença de oxidação. No protótipo em estudo foi utilizada tela de *nylon* por questões de disponibilidade, mas, sem interferir no desempenho da secagem.

4.1. Experimento 1

Esse experimento foi realizado nos dias 18/12/2018 e 19/12/2018, das 9h até 16h em cada dia, com condições climáticas favoráveis, céu limpo e bastante vento. As medidas de massa das frutas, irradiação solar e temperatura de entrada e saída de ar, foram realizadas a cada 2 h ou 3 h para observar o desempenho da secagem das frutas e obter dados nos intervalos semelhantes aos realizados por [8]. Inicialmente, as frutas foram higienizadas em água com vinagre e fatiadas com cautela para manter a uniformidade, com cerca de 4mm. Posteriormente foram levadas até o secador solar e distribuídas uniformemente sobre a tela de *nylon*. No total foram 14 horas de exposição à radiação solar no secador solar para todas as frutas (banana, maçã, tomate e abacaxi), independente da quantidade de horas mínimas necessárias para redução do percentual de massa de água. Ao final do primeiro dia de secagem, as frutas foram retiradas do secador solar, pesadas e armazenadas dentro de um mesmo recipiente de vidro fechado para evitar a deterioração das mesmas além de evitar variação de massa de água das frutas em interação com o ambiente. Observou-se na manhã seguinte que a maçã obteve uma variação de massa de 34 g para 39 g e o abacaxi obteve uma variação de massa de 93 g para 85 g, o que sugere que o abacaxi perdeu massa de água por evaporação para o ar enquanto a maçã absorveu essa massa de água. Isto representa um erro na análise do desempenho de secagem, pois, idealmente seria que os alimentos preservassem suas massas durante o armazenamento, perdendo massa apenas durante a secagem. Esse erro representa cerca de 2,8% para a maçã e 3,4% para o abacaxi. Os tomates e bananas não obtiveram variação de massa significativa, representando um erro abaixo de 1%. Os dados referentes ao experimento de massa, temperatura e irradiação solar estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados coletados do experimento 1. (Autoria própria)

Data	Hora (h)	Massa total (g)				Temperatura (°C)				Irradiação (W/m ²)
		Banana	Maçã	Tomate	Abacaxi	Interna	Externa	Entrada	Saída	
18/12/2018	09:00	145	208	171	264	46	32	32	33	1619
	12:00	91	121	77	158	60	39	39	42	1621
	14:00	54	52	35	122	51	36	37	39	1436
	16:00	39	34	9	93	40	33	32	33	1102
19/12/2018	09:00	38	39	9	85	50	33	34	34	1355
	12:00	36	34	9	64	57	38	38	40	1417
	14:00	36	31	9	52	48	34	34	37	1357
	16:00	36	30	8	52	41	31	30	31	882

De acordo com a Tabela 2, seção 3.3 deste trabalho, conforme aponta a literatura, o percentual de massa de água da banana pacovan, maçã, tomate e abacaxi correspondem respectivamente a 78%, 85%, 96% e 87% de suas

massas iniciais, o que demonstra um total de massa de água nas frutas ao início do experimento de 113,1 g para a banana pacovan, 176,8 g para a maçã, 164,2 g para o tomate e 229,7 g para o abacaxi. Com os dados da Tabela 3 aplicando na Equação 1, pode-se determinar a perda de massa de água percentual das frutas, expostas na Tabela 4.

Tabela 4 – Perda de massa de água percentual por secagem do experimento 1. (Autoria própria)

Data	Hora (h)	Tempo decorrido (h)	Perda de massa de água percentual (%)			
			Banana	Maçã	Tomate	Abacaxi
18/12/2018	09:00	0 h	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	12:00	3 h	47,7%	49,2%	57,3%	46,2%
	14:00	5 h	80,5%	88,2%	82,8%	61,8%
	16:00	7 h	93,7%	98,4%	98,7%	74,5%
19/12/2018	09:00	7 h	94,6%	95,6%	98,7%	77,9%
	12:00	10 h	96,4%	98,4%	98,7%	87,1%
	14:00	12 h	96,4%	99,0%	98,7%	92,3%
	16:00	14 h	96,4%	99,0%	99,0%	92,3%

Nota-se que, de acordo com a Tabela 4, após 5 horas de secagem no primeiro dia do experimento 1, a banana, maçã e tomate já haviam perdido mais de 75% dos requeridos pela ANVISA de massa de água para serem considerados como frutas desidratadas. Ainda destes últimos, a perda total de massa de água foi superior a 96%, sendo o tomate e maçã com 99% de perda. O abacaxi atingiu sua perda percentual de massa de água de 75% desejável após aproximadamente 7 horas de secagem.

Apesar da realização deste experimento 1 com a estrutura sem pintura, os resultados obtidos foram satisfatórios para todas as frutas e dentro do desejável para classificação de frutas secas, conforme [21]. A aparência inicial, após 7 horas de secagem e final das frutas pode ser observada nas Figuras 5, 6 e 7.



Figura 5 – Aparência das frutas no início da secagem do primeiro experimento. (Autoria própria)



Figura 6 - Aparência das frutas após 7 horas de secagem do primeiro experimento. (Autoria própria)



Figura 7 - Aparência das frutas ao final da secagem do primeiro experimento. (Autoria própria)

4.2. Experimento 2

Assim como o experimento 1, este foi realizado com os mesmos cortes e tipos de alimentos, com exceção do abacaxi que demonstrou o maior tempo de secagem utilizado com casca no experimento 1 e neste, a fim de obter uma melhoria no comportamento, a casca foi retirada. Ainda no experimento 2, foi adicionada a pintura na cor preto fosco à estrutura com o intuito de melhorar a absorção de energia solar. Esse experimento foi realizado nos dias 20/12/2018 e 21/12/2018, também das 9h até 16h de cada dia, com condições climáticas favoráveis, e certos períodos de nebulosidade, porém, a maior parte do tempo prevaleceu céu limpo e bons índices de irradiação solar. Inicialmente, as novas frutas foram higienizadas e seguiu o mesmo procedimento do experimento 1. No total foram 14 horas de exposição à radiação solar no SS para todas as frutas. Ao final do primeiro dia de secagem, as frutas foram novamente retiradas do secador solar e no caso deste experimento guardadas dentro de recipientes fechados separados. Observou-se na manhã seguinte que as maçãs obtiveram uma variação de massa de 19 g para 21 g, os abacaxis de 31 g para 29 g, os tomates de 19 g para 15g e as bananas de 34 g para 31 g. Mostrou-se que, mesmo armazenando as frutas em recipientes separados, a maçã absorveu massa de água do ar enquanto o abacaxi, tomate e banana perderam massa de água para o ar, no entanto, a variação do abacaxi e maçã foram menor que no experimento 1 quando ambos estavam no mesmo recipiente. Esse erro representa cerca de 2,0% para a maçã, 1,7% para o abacaxi, 2,6% para o tomate e 3,6% para a banana. Os dados do experimento 2 referentes à massa, temperatura e irradiação solar estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados coletados do experimento 2. (Autoria própria)

Data	Hora (h)	Perda de massa (g)				Temperatura (°C)				Irradiação (W/m ²)
		Banana	Maçã	Tomate	Abacaxi	Interna	Externa	Entrada	Saída	
20/12/2018	9:00	106	114	166	136	40	32	32	32	1453
	12:00	66	70	81	79	56	37	37	39	1005
	14:00	40	27	36	42	55	36	38	43	1520
	16:00	33	19	16	31	44	34	33	35	1025
21/12/2018	09:00	31	21	15	29	38	33	34	34	1427
	12:00	28	19	10	23	59	39	39	41	1522
	14:00	28	16	9	21	54	35	36	38	1118
	16:00	28	16	9	21	49	34	35	36	1341

Conforme supramencionado, os dados da Tabela 2 com a Tabela 5, fornece um total de massa de água inicial de 82,68 g para a banana pacovan, 96,7 g para a maçã, 159,36 g para o tomate e 118,32 g para o abacaxi. Com os dados da Tabela 5 aplicando na Equação 1, pode-se determinar a perda de massa de água percentual das frutas, expostas na Tabela 6.

Tabela 6 - Perda de massa de água percentual por secagem do experimento 2. (Autoria própria)

Data	Hora	Tempo decorrido (h)	Perda de massa de água (%)			
			Banana	Maçã	Tomate	Abacaxi
20/12/2018	09:00	0 h	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	12:00	3 h	48,4%	45,4%	53,3%	48,2%
	14:00	5 h	79,8%	89,8%	81,6%	79,4%
	16:00	7 h	87,1%	98,0%	92,2%	88,7%
21/12/2018	09:00	7 h	90,7%	96,0%	94,8%	90,4%
	12:00	10 h	94,3%	98,0%	97,9%	95,5%
	14:00	12 h	94,3%	99,0%	98,5%	97,2%
	16:00	14 h	94,3%	99,0%	98,5%	97,2%

De acordo com a Tabela 6, após 5 horas de secagem ao primeiro dia do experimento 2, todas as frutas, incluindo o abacaxi sem casca (no experimento 1 o abacaxi estava com casca), atingiram a perda de massa de água percentual superior aos 75% requeridos, mostrando-se novamente um resultado satisfatório. Observou-se que a retirada da casca do abacaxi aumentou o desempenho de secagem consideravelmente, atingindo uma diferença de 17,6% de perda de massa de água percentual no mesmo período de 5 h analisado. As outras frutas, não tão diferente do observado no experimento 1 obtiveram um comportamento semelhante apesar da adição da camada de tinta preta na estrutura, no entanto, vale salientar que as condições climáticas do segundo experimento não foram tão ideais quanto ao do primeiro experimento, devido à ocorrência de nebulosidade persistente. A perda total para todas as frutas superou 94% de perda percentual de massa de água. Com esta e outras variáveis pode-se dizer que a adição da camada de tinta preta melhorou discretamente o desempenho do secador solar. A aparência inicial, após 7 horas de secagem e final das frutas pode ser observada nas Figura 8, 9 e 10.



Figura 8 - Aparência das frutas no início da secagem do segundo experimento. (Autoria própria)



Figura 9 - Aparência das frutas após 7 horas de secagem do segundo experimento. (Autoria própria)



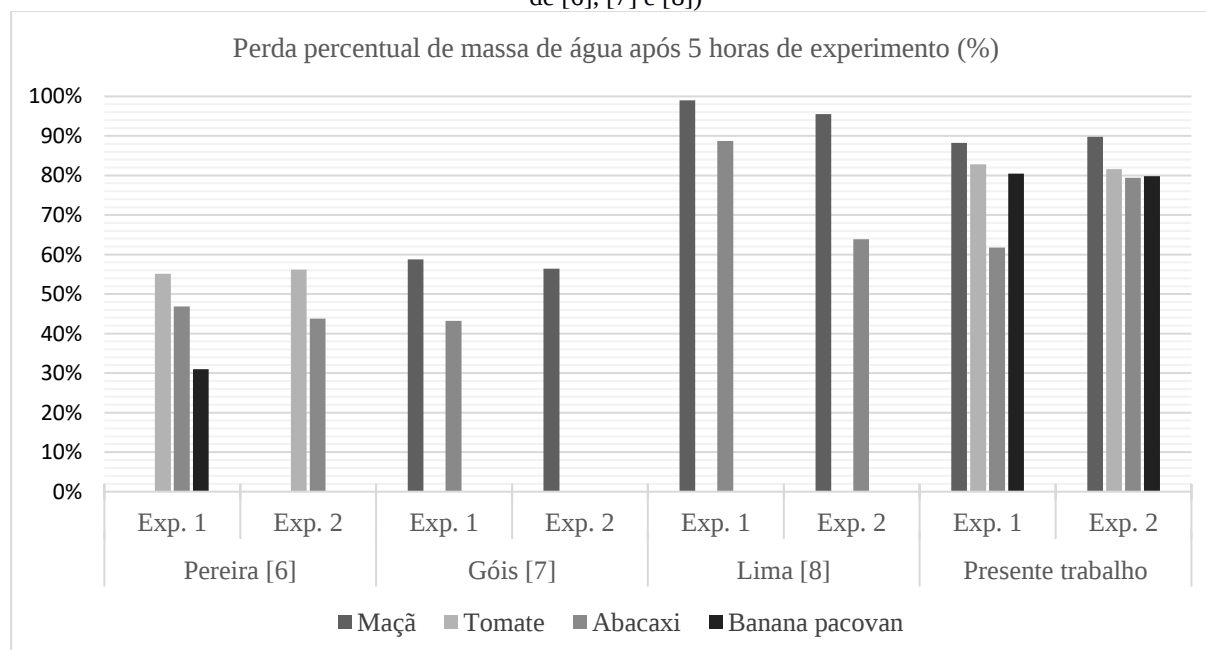
Figura 10 - Aparência das frutas ao final da secagem do segundo experimento. (Autoria própria)

4.3. Análise dos resultados

Segundo CPRA [22], a temperatura ideal de secagem para frutas varia de 45°C (mínima) à 60°C (máxima). De acordo com as Tabelas 3 e 5, pode-se observar que, a temperatura máxima obtida alcançou os 60°C no experimento 1 e 59°C no experimento 2. Enquanto a temperatura mínima atingiu 41°C e 40°C para os experimentos 1 e 2, respectivamente. De maneira geral a temperatura do secador desenvolvido ficou dentro dos limites ideais da recomendação da literatura, mantendo o bom desempenho de secagem das frutas. A média de irradiação solar para o experimento 1 foi de 1349 W/m² e para o experimento 2 de 1301 W/m², salientando que estas aferições foram realizadas em intervalos pontuais, podendo haver variações significativas durante os intervalos do período nublado encontrado no segundo experimento. A presença do vento também é um fator de grande influência na secagem, como menciona a literatura, mas, de modo geral todos estes índices são satisfatórios para o experimento e estão dentro do esperado para região de Mossoró, como pode-se observar em [6] no mesmo período diário com média de irradiação solar obtida para os experimentos de, 1177 W/m² no mês de abril de 2015, em [7] com média obtida de 1097 W/m² nos meses de março e abril de 2016, e [8] com média obtida de 1251 W/m² nos meses de janeiro de 2018.

Como já mencionado, este trabalho representa uma aplicação e prosseguimento dos conhecimentos obtidos dos trabalhos por [6], [7] e [8], com condições de exposição ao sol e vento semelhantes, apesar de algumas diferenças na metodologia, a comparação entre eles é válida e principalmente por se tratar do mesmo local de exposição à secagem. O Gráfico 1 apresenta um resumo comparativo da perda de massa de água percentual entre os trabalhos, calculados de acordo com a aplicação da Equação 1, referente às frutas expostas no secador solar após 5 horas de experimento em todos os estudos.

Gráfico 1 – Comparativo de perda de massa de água percentual das frutas após 5 h de experimento. (Adaptado de [6], [7] e [8])



Analisando o desempenho mostrado na Gráfico 1 com o trabalho de [6], o presente trabalho apresentou um desempenho geral melhor de secagem, com uma diferença cerca de 26% para o tomate, ambas cortadas em fatias, uma diferença cerca de 32% para o abacaxi, ambos cortados em fatias e sem casca, e, uma diferença significativa de 50% para a banana, no entanto, [6] utilizou a banana inteira enquanto neste a banana foi cortada em pequenas fatias, o que aumenta a área de contato com o ar e consequentemente a cinética de secagem.

Comparando com o trabalho desenvolvido por [7], o presente trabalho também apresentou um desempenho geral melhor de secagem, com uma diferença cerca de 32% para maçã, ambas cortadas em fatias, uma diferença cerca de 36% para o abacaxi, ambos cortadas em fatias e sem casca, e, uma diferença cerca de 19% para a banana, no entanto, [7] utilizou banana prata enquanto neste se utilizou banana pacovan. [7] relatou ainda escurecimento das frutas, com enfoque na banana, que se observou com um grande escurecimento na sua superfície, como consequência da oxidação de algumas enzimas presentes, influenciada pela maturidade da fruta.

Considerando o trabalho desenvolvido por [8] no mesmo período comparado de 5 horas, os resultados obtidos do desempenho de secagem foram os mais próximos entre os trabalhos, com a diferença geral para todas as frutas em média de 10%. No entanto, [8] atingiu os melhores resultados como mostra a Gráfico 1.

Em todos os trabalhos, as variáveis de exposição como vento, índices de irradiação solar, temperaturas internas e as temperaturas de entrada e saída, não se mostraram muito divergentes, salvo algumas exceções de nebulosidade em alguns experimentos, mas, este último foi compensado com um maior tempo de exposição das frutas. A geometria de corte e localização das frutas no interior do secador se mostra também como um grande fator de influência no desempenho da secagem.

5. CONCLUSÃO

Conforme os objetivos definidos previamente, o secador solar de baixo custo proposto e confeccionado através do reaproveitamento de materiais recicláveis mostrou-se viável para realização da secagem das frutas utilizadas. Confeccionado com uma área útil de secagem de 0,715 m², o secador solar conta com um processo de construção e montagem simples com um desempenho efetivo ao seu propósito, que pode facilmente ser reparado em caso de necessidade. Seu custo é bastante competitivo com os secadores convencionais disponíveis no mercado, com um custo total de aproximadamente R\$ 120,00, frente ao secador elétrico encontrado no mercado nacional, marca *Meloni*[®], com área útil de secagem de 0,42 m² e um custo de R\$ 795,00 além dos custos com energia elétrica para operação. Em comparação com o protótipo de secador solar confeccionando por [6], [7] e [8] com uma área útil de secagem de 0,2015 m², no estado de modificação mais recente realizado por [8], na qual obteve o desempenho de secagem mais próximo com o presente trabalho, o custo do protótipo foi de aproximadamente R\$ 185,00 sem considerar a cobertura de vidro na qual foi doada pela UFERSA.

Os resultados dos testes realizados demonstraram a viabilidade de utilização do secador construído a partir de sucata de janela e materiais reutilizados, podendo a carga dos produtos ser aumentada através da utilização de um maior número de módulos de secagem. Como observado no experimento 2 que obteve o melhor desempenho, em apenas 5 horas de secagem das frutas, a perda percentual de massa de água já tinha superado 75% dos requeridos para ser classificada como frutas secas.

O secador solar não requer gastos adicionais com energia elétrica proveniente da rede nem a dependência da mesma quando se trata de áreas rurais afastadas que sequer podem ter acesso à rede, ideais para regiões de clima semiárido, como a cidade de Mossoró e região.

A produção do secador solar proposto utilizando materiais descartáveis semelhantes ao deste trabalho ou que possibilitem o mesmo funcionamento do sistema, podem representar uma alternativa para geração de emprego e renda para comunidades carentes, além de sua utilização servir para combater o desperdício e perecibilidade da produção de pequenos produtores rurais e gerar uma fonte de renda adicional para os mesmos, pelo significativo valor agregado, em relação aos produtos *in natura*.

A área de pesquisa acerca da influência do vento sob o sistema de secagem solar carece de mais estudos, como uma das sugestões para trabalhos futuros, consiste em construir um sistema de exaustão eólico para permitir o aumento do fluxo do ar no interior do secador e consequentemente a cinética de secagem, sem oneração significativa ao sistema. Outra sugestão é analisar a capacidade de secagem em outros produtos, tais como, peixes, carnes, madeiras, entre outros, avaliando o desempenho do secador solar aos mesmos.

REFERÊNCIAS

- [1] SOARES, Cleber Oliveira. Inovação que transforma o semiárido. **Revista NEO MONDO**, [S. l.], 28 jun. 2018. Disponível em: <<http://www.neomondo.org.br/2018/06/28/artigo-inovacao-que-transforma-o-semiarido/>>. Acesso em: 31 jan. 2019.
- [2] SOUZA, Luiz Guilherme Meira de et al. Obtenção de tomate seco utilizando um sistema de secagem solar construído com materiais alternativos. In: 8º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2007, Cusco. **Anais [...]**. Cusco, Perú: PUCP, 2007.
- [3] TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno et al (coord.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar,**

Oceânica. 1º. ed. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 452 p. ISBN 978-85-60025-06-0.

[4] NETO, M. C. Macedo et al. Aplicação de materiais alternativos para o uso da energia solar. **HOLOS**, IFRN, UFRN. Natal, ano 30, v. 4, 2014.

[5] PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 1º. ed. São José dos Campos, INPE: [s. n.], 2006. 60 p. ISBN 85-17-00030-7.

[6] PEREIRA, Patrícia Alves. **Construção e análise de um secador solar de baixo custo na cidade de Mossoró - RN**. 2015. 67p. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, 2015.

[7] GÓIS, Felipe Gabriel de Carvalho. **Análise de desempenho e viabilidade de um secador solar de baixo custo na cidade de Mossoró/RN**. 2016. 56 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, 2016.

[8] LIMA, Keliany da Silva. **Secador solar de baixo custo no semiárido potiguar: análise do desempenho**. 2017.2. 11p. Artigo (Graduação em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, 2018.

[9] CELESTINO, Sonia Maria Costa. Princípios de Secagem de Alimentos. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, DF, 2010. ISSN 1517-5111

[10] CELESTINO, S. M. C. **Transferência de calor e massa em leito deslizante e escoamentos concorrentes: secagem de sementes de soja**. 1998. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, 1998.

[11] FEIDEN, Adriana et al. Desidratação de Frutas Utilizando Secador Solar. **Embrapa**, Corumbá, MS, 2015. ISSN 1981-7231

[12] SILVA, Idelfonso Generôzo da. **Desidratação de banana em secador solar: Viabilidade técnica e econômica**: 2010. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - UFAC, Rio Branco, 2010.

[13] MELONI CONSULTORIA. **Desidratador Residencial Pratic Dryer**. Viçosa, MG, 2018. Disponível em: <<https://meloni.com.br/desidratadores-alimentos/produto/desidratador-pratic-dryer/desidratador-pratic-dryer-127.htm>>. Acesso em: 5 mar. 2019.

[14] FIOREZE, Romeu. **Princípios da Secagem de Produtos Biológicos**. João Pessoa, Editora da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2003.

[15] BARBOSA, José Rui Peres. **Estudo da viabilidade de uso de secadores solares fabricados com sucatas de luminárias**. 2011. 70 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2011.

[16] COSTA, João Batista Sousa. **Obtenção e Caracterização de Farinha de Frutas e Vegetais através do uso de um Sistema de Secagem Solar de Baixo Custo**. 74 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

[17] ALMEIDA, I. B.; LIMA, M. A. A.; SOUZA, L. G. M. Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material reciclável. **HOLOS**, IFRN, UFRN. Natal, ano 32, v. 4, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.15628/holos.2016.2477>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

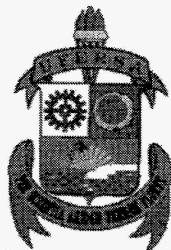
[18] IDEMA-RN. **Perfil do seu Município - Mossoró**. Natal, Rio Grande do Norte, 2008. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC00000000013950.PDF>>. Acesso em: 7 dez. 2018.

[19] SOBRINHO, José Espínola et al. Climatologia da precipitação no município de Mossoró - RN. Período: 1900-2010. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2011, Centro de Turismo de Guarapari. **Anais [...]**. SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES: SESC, 2011.

[20] NEPA – UNICAMP. TACO - **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4. ed. rev. e ampl. Campinas, São Paulo, 2011. 161 p.

[21] ANVISA, Resolução - CNNPA nº 12. 1978. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78_frutas_secas.htm>. Acesso em: 14 dez. 2018.

[22] CPRA, Centro Paranaense de Referência em Agroecologia. **Secagem / Desidratação - Plantas Medicinais Aromáticas e Condimentares, Frutas e Hortaliças**. Pinhais: CPRA, 2009. Folder. 2p.



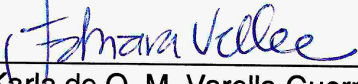
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

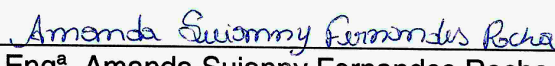
Às 14:00h do dia 11 de março de 2019, no Laboratório de Energias Renováveis (LENERG), Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semiárido, sede em Mossoró/RN, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **CAIO VITOR MARCIO ARAÚJO**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2015010788**, com o título "**CONSTRUÇÃO DE SECADOR SOLAR UTILIZANDO MATERIAIS RECICLÁVEIS**". A banca examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof^a. Dr^a. Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra, presidente da banca e orientadora do trabalho de conclusão de curso; Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale e Engenheira eletricista Amanda Suianny Fernandes Rocha, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, em reunião fechada, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 10,0; 10,0; 10,0. Apuradas as notas, verificou-se que o aluno foi **APROVADO** com média geral 10,0. E para constar, eu, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 11 de Março de 2019.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.


Prof^a. Dr^a. Fabiana Karla de O. M. Varella Guerra - UFERSA
Presidente e orientador


Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale - UFERSA
Primeiro Membro


Eng^a. Amanda Suianny Fernandes Rocha
Terceiro Membro