

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DO DESIDRATADOR SOLAR TERMOFOTOVOLTAICO 216GII NA AGRICULTURA FAMILIAR DE TERESINA-PI

Alexandre Miranda Pires dos Anjos¹, Adriana galvão²

¹Universidade federal do Piauí, Departamento de Física, Teresina, Brasil
(alexanhos@ufpi.edu.br)

²Universidade Federal do Piauí, Departamento de Artes Visuais, Teresina, Brasil

Resumo: Este estudo investiga a eficácia do desidratador solar termofotovoltaico 216GII como tecnologia social para a mitigação do desperdício pós-colheita em hortas comunitárias de Teresina-PI. A metodologia compreendeu o levantamento de 93 itens agrícolas locais, dos quais 14 produtos foram selecionados para ensaios experimentais de desidratação, considerando parâmetros de rendimento, aproveitamento e balanço de massa. Avaliou-se a viabilidade econômica comparando o preço in natura ao valor processado, além de análises laboratoriais para validação da segurança microbiológica. Os resultados indicam que, embora a comercialização por quilograma apresente limitações financeiras, a estratégia de particionamento em porções de 10g eleva significativamente a lucratividade e o valor agregado, garantindo a conservação e a inocuidade dos alimentos.

Palavras-chave: Agricultura familiar; Desidratação solar; Sustentabilidade; Tecnologia social; Viabilidade econômica.

INTRODUÇÃO

A agricultura urbana e periurbana em Teresina, Piauí, configura-se como um pilar estratégico para a segurança alimentar e a geração de renda de famílias em situação de vulnerabilidade (Mougeot, 2000). Atualmente, o município conta com 42 hortas comunitárias distribuídas em uma área aproximada de 115 hectares, subdivididos em 2.445 lotes produtivos, segundo dados mais recentes da Prefeitura Municipal de Teresina. Apesar da relevância socioeconômica, o setor enfrenta um desafio crítico: o desperdício pós-colheita (Pelissari et al., 2023). Estima-se que cerca de 20% da produção de hortaliças e folhagens seja perdida devido à perecibilidade acentuada e à saturação sazonal do mercado local, podendo chegar até 40% segundo dados da Embrapa (Lana, 2020).

Neste contexto, a transição para práticas agroecológicas e a adoção de tecnologias de conservação tornam-se imperativas. A desidratação surge como uma solução técnica viável, fundamentada nos princípios da termodinâmica e da transferência de calor e massa conforme Farkas e Rendik (2011). Conforme postulado por Mujumdar (1990), a secagem é um processo complexo que envolve a remoção de umidade por meio da aplicação de calor, reduzindo a atividade de água e, conseqüentemente, inibindo o crescimento microbiológico e reações enzimáticas degradativas.

Este artigo descreve a aplicação do desidratador solar modelo Termofoltovoltaico 216GII, movido exclusivamente por energia solar, concebido como uma tecnologia social para mitigar o desperdício e agregar valor aos produtos da agricultura familiar. A pesquisa foca na interseção entre a Física Aplicada e a Sustentabilidade, avaliando como a inovação tecnológica pode transformar a realidade produtiva de comunidades integradas ao programa de transição agroecológica.

Portanto, neste trabalho, foi realizado um levantamento dos principais produtos agrícolas produzidos pelas comunidades Alegria, Ave Verde, Gamboa, Cerâmica Cil, Salobro, Serra do Gavião, Sinhá Borges, Soim, Tapuia e Vale da Esperança em Teresina PI, com o intuito de avaliar a aplicabilidade do desidratador solar termofotovoltaico 216GII. Ainda, seis produtos com diferentes características foram desidratados com o equipamento, buscando identificar a aplicabilidade do mesmo analisando o tempo de desidratação, aspectos físico-químicos e microbiológicos.

MATERIAL E MÉTODOS

A tecnologia de desidratação passou pela fase de desenvolvimento, no qual foi elaborado um projeto observando o dimensionamento da máquina para atender a demanda de uma família e aspectos termodinâmicos de operação. O sistema possui uma

câmara de desidratação com volume de 216 litros de carga útil. O painel de aquecimento tem uma área de 0,9 m² com uma inclinação de 20° em relação à horizontal mantendo níveis de aproveitamento acima de 90%, conforme especificado na literatura especializada (ZILLES, 2022).

Seguindo a mesma inclinação, acoplou-se uma placa de 20W pico para alimentação de uma bateria de 12V e 9,0 Ah, a qual permite o acionamento de sistemas elétricos da máquina. Desta forma, chegou-se a um sistema termofotovoltaico totalmente desenvolvido na UFPI e robusto o suficiente para atender as necessidades dos produtores familiares. O sistema de controle da máquina consiste em regular o fluxo promovido por ventoinhas de acepção de ar quente e de exaustão, estrategicamente dispostas na câmara de desidratação. O sistema de controle desenvolvido utiliza potenciômetros rotativos pensando na facilidade que estes oferecem ao público que irá operar as máquinas e sua baixa manutenção.

Na fase de operação, onde a máquina foi testada, foram avaliados a capacidade de carga, tempo de processamento, aproveitamento - que consiste na massa de produto colocado para desidratação dividido pela massa total do produto; e rendimento - que é o percentual de massa desidratada em relação a sua massa quando fresco. Nesta etapa, foram submetidos à desidratação 20 produtos, os quais passaram por etapas de pré-processamento que consistiram em: lavagem, sanitização, pré-processamento (corte, desfolhamento, despulpamento, exclusão de partes defeituosas), condicionamento em bandeja para a desidratação. Os produtos passaram por análises microbiológicas antes e após o processo de desidratação visando avaliar as condições estabelecidas para o consumo. Além destas, foram determinadas o teor de umidade do produto final. Todas as etapas, inclusive a desidratação, foram realizadas no Núcleo de Estudos, Pesquisa e Processamento de Alimentos (NUEPPA/CCA/UFPI).



Figura 1. Desidratador solar termofotovoltaico 216GII desenvolvido na UFPI.

Os insumos para a desidratação foram obtidos diretamente nas comunidades durante a ação do programa de Extensão, Sementes de Cultura em Teresina-PI, o qual visava a ampliação de espaços de comercialização de produtos agrícolas de base agroecológica. Foram selecionadas amostras representativas da produção local, com ênfase em folhagens, ervas aromáticas, frutas, legumes e tubérculos.

O acordo firmado na etapa inicial do projeto consistiu em um consórcio no qual os produtores forneceram a matéria prima para ser desidratada. Uma parte do produto ficou no laboratório para análises microbiológicas, determinação de tempo de prateleira, nutrientes e análises físico-químicas e outra parte foi devolvida aos produtores higienizado, sanitizado e embalado na forma desidratada.

Na fase de testes, foram desidratados com sucesso 20 variedades de produtos entre Legumes, Frutas, Tubérculos e Especiarias contidas nos rótulos da produção das comunidades. São eles: Abobrinha, Açafrão da Terra, Alecrim, Banana, Batata Doce, Berinjela, Beterraba, Caju, Cebolinha, Coentro, Couve, Erva Cidreira, Inhame, Hibisco, Macaxeira, Pimenta Malagueta, Rabanete, Tomate Cereja e Tomate, avaliados neste estudo, assim como o Caroço de Abacate, Talo de Salsão, . Nesta fase foram determinados o rendimento, o tempo de processamento, o teor de umidade final e a atividade microbiológica.

O processo de lavagem e sanitização, seguiu rigorosos protocolos de boas práticas de fabricação:

1. Higienização e Sanitização: Lavagem em água corrente e imersão em solução clorada (200 ppm).
2. Pré-processamento: Corte e seleção das partes nobres das plantas.
3. Desidratação: Monitoramento contínuo da temperatura e perda de massa até a estabilização do peso (umidade final desejada).
4. Análises: Foram realizadas análises microbiológicas (Salmonella e Estafilococos) e físico-químicas (teor de umidade, aproveitamento e rendimento).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fase de levantamento de espécies alimentares ofertados pelas hortas comunitárias: Alegria, Ave Verde, Irmã Dulce e Giovane Prado, mostraram uma diversidade de produtos totalizando 93 itens, os quais podem ser divididos, em uma classificação livre, em: Produtos Processados, Tubérculos, Legumes, Folhagens, Frutas, Especiarias e Grãos, além de Produtos Granjeiros e o Mel de Abelhas. Estes dois últimos totalizam 3% da variedade ofertada se restringindo a três rótulos: Mel de Abelha, Galinha e Ovos.

Os processados correspondem a cerca de 23% dos produtos comercializados, em termos de variedade de rótulos, representando a segunda maior diversidade do que é comercializado, totalizando 22 diferentes itens. O beneficiamento possui características artesanais, ou seja, pequena produção, sem o uso de tecnologias e com baixo nível de processamento.

Os produtos processados são: Azeite de coco babaçu, Barra de sabão, Bolo de carço, Bolo de goma, Cajuína, Caldo de Galinha, Castanha de Babaçu Processada, Doce de Abóbora, Doce de Mamão, Farinha de Mandioca, Geleia de Goiaba, Goma de Tapioca, Macaxeira cozida, Massa de Macaxeira, Molho de Pimenta, Mel de Caju, Óleo de Coco, Paçoca de Caju, Polpa de Cajá, Polpa de Umbu, Pupa e o Tempero Caseiro.

A maior variedade de rótulos colocados para a comercialização corresponde as folhagens, com 25 itens e um percentual de 26% da variedade total de produtos. As folhagens são: Alecrim, Alface, Babosa, Boldo, Capim de Cheiro, Capim Santo, Cebolinha, Cheiro Verde, Coentro, Coentro do Pará, Couve, Couve Chinês, Erva Cidreira, Erva Doce, Folha Santa, Hibisco, Hortelã, Malua, Manjerição, Mastruz, Mostarda, Rúcula, Salsa, Vick e Vinagreira, este último, muitas vezes chamado de Hibisco.

A terceira maior variedade de rótulos correspondem aos Legumes e Frutas. Foram levantados 12 diferentes rótulos de Legumes, correspondentes a cerca de 13% da variedade total de produtos comercializados. Os

Legumes identificados são: Abóbora, Abobrinha, Berinjela, Couve Flor, Jerimum, Maxixe, Maxixe de Metro, Pepino, Pimentão, Quiabo, Tomate Cereja, Tomate Grande. As frutas são: Acerola, Ata, Banana, Caju, Carambola, Castanha de Babaçu, Corante, Imbu, Laranja, Limão, Mamão e Melão.

Os Tubérculos representam 8% da variedade de produtos ofertados totalizando 7 diferentes itens, a saber: Açafrão da Terra, Batata Doce, Beterraba, Cenoura, Inhame, Macaxeira e Rabanete.

Os Grãos correspondem a 7% da variedade comercializada, totalizando 6 diferentes rótulos constituídos de: Feijão, Feijão Seco, Feijão Sempre Verde, Feijão Verde, Gergelim e Milho Verde.

As especiarias, formadas por uma variedade de pimentas, correspondem a aproximadamente 5% dos produtos ofertados, totalizando 5 diferentes tipos de pimentas. Pimenta Arde, Pimenta Biquinho, Pimenta de Cheiro, Pimenta de Macaco e Pimenta Malagueta. A Figura 2 apresenta um gráfico percentual dos produtos apurados.

Testes de desempenho do desidratador mostraram uma alta autonomia de operação, mesmo em períodos sem incidência solar, quando as ventoinhas são mantidas em níveis médios de fluxo em torno de 240 litros por minuto. Nesta condição o ar atmosférico da câmara de desidratação é renovado totalmente a cada minuto. Na condição de fluxo máximo, cerca de 500 litros/minuto, o ar da câmara é renovado mais de duas vezes a cada minuto e na condição mínima, cerca de 120 litros/minuto, o ar se renova completamente a cada dois minutos. As temperaturas registradas em períodos de maior incidência solar, entre 11:00 e 14:00h registraram temperaturas máxima de 80° C, permitindo a desidratação de uma ampla gama de produtos.

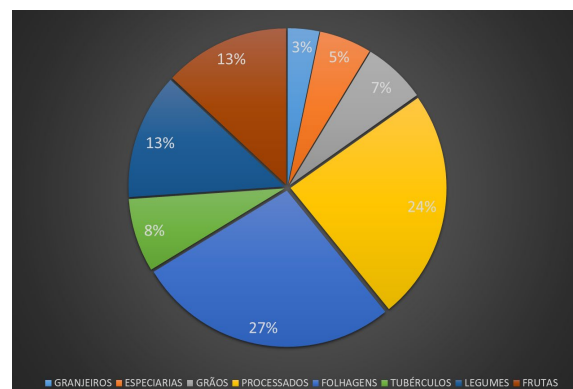


Figura 2. Diversidade de rótulos levantados divididos em Granjeiros (3%), Especiarias (5%), Grãos (7%), Processados (24%), Folhagens (27%), Tubérculos (8%), Legumes (13%) e Frutas (13%).

Verifica-se que a amplitude de produtos passíveis de desidratação corresponde a 66% do total de produtos levantados.

A taxa de perda de água em amostras folhosas, registrada por balança especialmente desenvolvida para esta finalidade, mostra uma média de 70 mg/min com carga reduzida, uma taxa compatível com sistemas convencionais de desidratação. Esta taxa mostra um comportamento praticamente constante ao longo de todo o processo. No entanto, ao atingir uma umidade em torno de 30% esta taxa cai bruscamente. Os resultados sugerem que o processo de reidratação, promovida pelo contato com o ar atmosférico, inicia-se a partir do momento em que a temperatura de operação fica abaixo dos 30°C no interior da câmara de desidratação em percentuais de umidade atmosférica acima de 50%.

Foram trabalhados cerca de 14 produtos em diferentes ensaios para a obtenção das melhores condições de desidratação. O Açafrão da Terra, a maior parte oriunda da comunidade Serra do Gavião, foi testado em diferentes ensaios de corte, carga por batelada e condições de fluxo. O corte manual transversal mostrou a melhor qualidade sensorial (aroma, cor e sabor) quando comparado ao fatiamento por máquina e ralado. A desidratação ocorreu de forma satisfatória tanto em operação passiva da máquina como na condição forçada, diferindo uma da outra somente quanto ao tempo de desidratação. No modo de operação passivo, ou seja, onde não são controladas mecanicamente as temperaturas e os fluxos, o Açafrão da Terra demorou cerca de seis horas a mais para atingir o ponto ideal de desidratação. Os estudos sugerem que a umidade relativa do ar é o parâmetro que mais afetara a qualidade do produto final dos desidratados, favorecendo a sua implantação principalmente no semiárido nordestino. Produtos como o coentro, cebolinha e couve foram submetidos a estudos similares. Alguns dos produtos desidratados são mostrados na Figura 3.



Figura 3. Imagens de produtos e derivados processados no Desidratador Termofotovoltaico DT216II.

Os aspectos estudados são fundamentais para a operação do equipamento de forma a se obter a melhor qualidade dos produtos finais, assim como, para se empregar o correto manuseio para uma melhor conservação.

O estudo para a definição dos produtos a serem trabalhados nas comunidades foi uma importante etapa do trabalho no qual os saberes populares orientaram de forma significativa a abordagem acadêmica.

Ao serem perguntados sobre os produtos que gostariam de desidratar, os entrevistados de cinco comunidades de base agroecológica apontaram: A vinagreira, a folha do caneleiro, o mamão, a banana, além das folhagens como o coentro e cebolinha os quais apresentam altos índices de perda, apontado por apenas um dos entrevistados.

O surgimento das Plantas Alimentícias não Convencionais (PANCs) no repertório de produtos das hortas, deu um novo direcionamento para a aplicação da tecnologia de desidratação. Além do Hibisco, flor e folha, e da folha do caneleiro – PANCs por excelência – o mamoeiro, do qual é tradicionalmente aproveitado somente o fruto, descobriu-se as potencialidades da folha e da semente.

Da banana, as folhas são muito consumidas em muitos países tropicais, além da própria casca servir de ótima fonte de nutrientes como o potássio. E ainda, após pesquisas motivadas pela entrevista, foram identificados outros potenciais produtos como a folha da abóbora, da qual dos brotos se faz a Cambuquira mineira; e as folhas da batata doce, rica fonte de ácido fólico e cálcio. A PANC analisada neste trabalho foi o Hibisco, sendo também o primeiro produto reinserido na comunidade. A grande aceitação do produto na forma desidratada e o envolvimento do produtor no projeto foram determinantes na escolha do produto.

Em comum, as PANCs apontadas apresentam algumas características importantes como potencial para serem trabalhadas: i) são plantas diferenciadas com maior facilidade de inserção no mercado; ii) muitos são alimentos consumidos mais facilmente quando desidratados; iii) São produtos que normalmente não tem valor comercial para os produtores; iv) são produtos que fazem parte da cadeia produtiva das hortas comunitárias.

No caso do Hibisco, para cada 1,000 kg de produto fornecido pelo produtor verificou-se, ao final da higienização, sanitização e seleção, uma redução para 0,998 kg. O produto foi submetido a 10 horas de Sol resultando em 185 g de produto desidratado com um teor de umidade em torno de 6%. O produto foi

acondicionado em embalagens seladas com 10 g cada. A metade foi devolvida ao produtor para comercialização.

O aproveitamento reflete a eficiência de conversão da matéria-prima bruta em biomassa útil para a desidratação, revelando que alimentos como a Cenoura, a Beterraba e o Tomate apresentam índices de aproveitamento superiores a 96%, indicando um desperdício mínimo durante as etapas de higienização e corte.

Em contrapartida, a Banana, apresenta o menor índice de aproveitamento de pré-processamento (35%), evidenciando que mais da metade de sua massa integral é composta por subprodutos (cascas) que não integram o processo final de secagem.

O Coentro também demanda atenção crítica, com um aproveitamento de apenas 49%, o que implica que para cada quilograma adquirido, aproximadamente metade são descartados como resíduos orgânicos (raízes e talos fibrosos). Ressalta-se que neste estudo estão mensuradas somente as folhas de coentro. No entanto, a desidratação dos talos foi realizada com sucesso mostrando grande potencial para agregar sabor e aroma em fórmulas desidratadas, podendo assim aumentar os índices de aproveitamento do Coentro.

Em suma, a tecnologia de desidratação solar demonstra-se altamente eficaz, mas sua sustentabilidade econômica depende de um balanço de massa que considere descarte intrínseco a cada espécie vegetal.

A Tabela 1 mostra os resultados da perda de massa conforme os parâmetros de Aproveitamento, A%, (massa restante após as perdas mecânicas de seleção e corte) e o Rendimento, R%, (massa restante após a perda de água). Esta análise visa quantificar o custo real da matéria-prima processada e determinar a viabilidade econômica de 14 produtos distintos.

Tabela 1. Valores de Rendimento (R%), Aproveitamento (A%), Preço do quilo *in natura* (Pi) e Preço desidratado para 14 produtos agrícolas estudados neste trabalho.

Produto	R%	A%	Pi (kg)	Pd (kg)
Abobrinha	5%	96%	R\$ 4,70	R\$ 85,00
Açafrão da terra	22%	86%	R\$ 6,50	R\$ 32,00
Banana Prata	15%	35%	R\$ 5,18	R\$ 42,00
Batata Inglesa	15%	96%	R\$ 18,50	R\$ 78,00
Batata-doce	28%	72%	R\$ 4,60	R\$ 72,00

Berinjela	12%	76%	R\$ 2,95	R\$ 58,00
Beterraba	18%	97%	R\$ 6,23	R\$ 82,00
Caju	75%	28%	R\$ 12,00	R\$ 65,00
Coentro	10%	49%	R\$ 9,08	R\$ 95,00
Gengibre	23%	77%	R\$ 14,50	R\$ 48,00
Hibisco	6%	88%	R\$ 20,00	R\$ 38,00
Pimenta	33%	67%	R\$ 2,03	R\$ 62,00
Tomate cereja	9%	93%	R\$ 22,50	R\$ 110,00
Tomate Italiano	13%	88%	R\$ 7,86	R\$ 85,00

O Preço do quilo *in natura* (Pi), praticada pelos agricultores na hora da venda, foi levantado na página do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), e entrevistas, no caso do produto não estar disponível na tabela do PAA, enquanto, o preço do produto desidratado (Pd) foi levantado em quatro comércios locais de Teresina e os valores apresentados na tabela referem-se ao preço médio arredondado.

A verificação da Viabilidade, ou seja, determinar se compensa a venda do produto fresco ou desidratado, é dado pelo cálculo do Fator de Perdas (FP) na desidratação, determinado pelo produto do aproveitamento (A%) pelo rendimento (R%). Dado pela Fórmula 1.

$$FP = A\% \times R\% \quad (1)$$

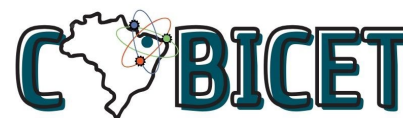
Em seguida o FP é multiplicado pelo preço do produto desidratado (Pd), obtendo assim o Preço Final do Desidratado (PFD). Dado pela fórmula 2.

$$PFD = FP \times Pd \quad (2)$$

Finalmente, o PFD é comparado ao preço do produto *in natura* pela subtração PFD-Pi. Valores negativos indicam que é mais vantajoso a venda do produto *in natura* enquanto valores positivos apontam a desidratação como a alternativa mais lucrativa, considerando a estratégia de venda por quilo. A Tabela 2 mostra os valores de FP, PFD e a subtração do PFD-Pi para os 14 produtos analisados neste trabalho.

Tabela 1. Valores do Fator de Perda (FP), dado por $A\% \times R\%$. Preço Final do Desidratado (PFD), dado por $PFD = FP \times Pd$ e valores de PFD-Pi

Produto	FP	PFD	PFD-Pi
Abobrinha	0,048	R\$ 4,08	-R\$ 0,62
Açafrão da terra	0,189	R\$ 6,05	-R\$ 0,45
Banana Prata	0,052	R\$ 2,21	-R\$ 2,98
Batata Inglesa	0,144	R\$ 11,23	-R\$ 7,27



Batata-doce	0,201	R\$ 14,52	R\$ 9,92
Berinjela	0,091	R\$ 5,29	R\$ 2,34
Beterraba	0,174	R\$ 14,32	R\$ 8,09
Caju	0,210	R\$ 13,65	R\$ 1,65
Coentro	0,049	R\$ 4,66	-R\$ 4,43
Gengibre	0,177	R\$ 8,50	-R\$ 6,00
Hibisco	0,053	R\$ 2,01	-R\$ 17,99
Pimenta	0,221	R\$ 13,71	R\$ 11,68
Tomate cereja	0,084	R\$ 9,21	-R\$ 13,29
Tomate Italiano	0,114	R\$ 9,72	R\$ 1,86

A análise dos resultados obtidos demonstra que a viabilidade econômica do processamento por desidratação é altamente dependente da interação entre o fator de perdas, o rendimento intrínseco da matéria-prima e a elasticidade dos preços praticados nos mercados locais.

Ao avaliar o desempenho financeiro dos catorze produtos agrícolas, observa-se uma predominância da inviabilidade para a comercialização na forma desidratada sob a ótica da venda por quilograma, uma vez que em 85,7% da amostra o Preço Final do Desidratado subtraído do preço *in natura* resultou em valores negativos.

O caso mais crítico de desvantagem econômica foi identificado no tomate cereja, que apresentou uma diferença negativa de R\$ 13,29, seguido pela pimenta, com -R\$ 11,68, evidenciando que a expressiva redução de massa durante o processo térmico não é compensada pelo valor agregado médio de R\$ 110,00 e R\$ 62,00, respectivamente.

Tais achados corroboram estudos como os de Silva et al. (2021), que indicam que produtos com elevado teor de umidade e baixo rendimento de polpa exigem um diferencial de preço substancial no varejo para justificar o investimento em pós-colheita.

Em contrapartida, a batata-doce revelou-se o produto de maior potencial lucrativo, com um saldo positivo de R\$ 9,92, o que pode ser atribuído ao seu elevado rendimento de 28% e ao aproveitamento de 72%, fatores que minimizam o impacto do fator de perdas no cálculo do preço final.

O tomate italiano também demonstrou viabilidade positiva, embora mais modesta, de R\$ 1,86, contrastando com o tomate cereja devido ao seu melhor rendimento (13% contra 9%) e aproveitamento (88% contra 93%), o que sugere que a seleção da variedade botânica é um determinante tecnológico essencial na agroindústria de desidratados.

A não viabilidade observada em itens como a beterraba (-R\$ 8,09) e a batata inglesa (-R\$ 7,27) aponta para uma desconexão entre os custos de aquisição *in natura* e a disposição de pagamento no comércio local, indicando que a estratégia de desidratação para esses vegetais demandaria canais de comercialização com maior valor agregado ou a utilização de excedentes de safra com custos de matéria-prima reduzidos.

Portanto, em uma síntese geral da viabilidade econômica, verificou-se que a comercialização na forma *in natura* permanece como a alternativa mais rentável para a maioria dos produtores da região de Teresina, sendo o processamento uma via de agregação de valor restrita a matérias-primas com características biométricas de alto rendimento e baixo fator de perdas, como as raízes tuberosas e variedades específicas de frutos carnosos, exigindo um planejamento rigoroso que considere as flutuações sazonais de preços e a eficiência técnica da desidratação.

A transição de uma economia de escala para uma estratégia de nicho fundamentada na fragmentação da oferta comercial representa uma solução tecnicamente viável para mitigar o impacto do fator de perdas (FP) no processamento de vegetais.

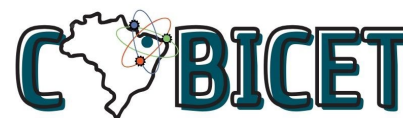
A inviabilidade observada em oito dos catorze produtos analisados decorre da incapacidade do preço médio do produto desidratado (Pd) em compensar a redução drástica de massa durante a remoção de água livre.

Para a abobrinha, cujo FP de 0,048 resulta em um PFD de apenas R\$ 4,08 frente a um Pi de R\$ 4,70, a comercialização em porções de 10 g ao preço unitário estimado de R\$ 2,50 — equivalente a um Pd projetado de R\$ 250,00 por quilograma — elevaria o PFD para R\$ 12,00, transformando o déficit de R\$ 0,62 em um superávit de R\$ 7,30 por quilo de matéria-prima.

Fenômeno análogo é observado no tomate cereja, o item de maior inviabilidade absoluta no cenário de atacado (-R\$ 13,29); ao adotar uma precificação de R\$ 4,00 por porção individual de 10 g (Pd de R\$ 400,00), o PFD saltaria de R\$ 9,21 para R\$ 33,60, garantindo uma lucratividade estimada de R\$ 11,10 sobre o custo *in natura* de R\$ 22,50.

No caso da pimenta, que apresenta um FP robusto de 0,221, a fragmentação em porções de 10 g a R\$ 2,00 (Pd de R\$ 200,00) resultaria em um PFD de R\$ 44,20, gerando uma margem de R\$ 42,17 por quilograma, o que demonstra que a agregação de valor via fracionamento é inversamente proporcional ao volume da unidade de venda.

Para produtos com rendimentos extremamente baixos, como o hibisco e o coentro, cujos PFDs atuais de R\$ 2,01 e R\$ 4,66 são insuficientes para cobrir os Pis de



R\$ 5,00 e R\$ 9,08, a estratégia de porções de 10 g a R\$ 3,00 (Pd de R\$ 300,00) projetaria novos PFDs de R\$ 15,90 e R\$ 14,70, estabelecendo viabilidade positiva com margens de R\$ 10,90 e R\$ 5,62, respectivamente, por quilo de produto fresco.

O caju e o gengibre, que apresentam déficits de R\$ 1,65 e R\$ 6,00 no modelo de venda por quilo, alcançariam lucratividades estimadas de R\$ 72,00 e R\$ 56,30 se comercializados a R\$ 4,00 por porção de 10 g, evidenciando que a percepção de valor do consumidor para "snacks" saudáveis desvincula o preço final da cotação comum.

A batata inglesa, a beterraba e a berinjela, com diferenças negativas de R\$ 7,27, R\$ 8,09 e R\$ 2,34, passariam a apresentar saldos positivos de R\$ 24,70, R\$ 45,97 e R\$ 19,80 sob a mesma lógica de precificação particionada a R\$ 3,00 por unidade de 10 g.

Para o açafrão da terra e a banana prata, a fragmentação permitiria reverter os saldos negativos de R\$ 0,45 e R\$ 2,98 para ganhos de R\$ 21,85 e R\$ 7,82. É imperativo ressaltar que estas projeções assumem que os custos incrementais de embalagem e rotulagem são absorvidos pela margem bruta ampliada, e que a limitação de dados sobre a elasticidade-preço da demanda em Teresina para porções de 10 g sugere a necessidade de validação experimental.

Contudo, a análise numérica demonstra que a partição da oferta atua como um multiplicador de lucratividade ao contornar a barreira física do rendimento, tornando viáveis todos os produtos anteriormente deficitários.

A aplicação da estratégia de particionamento para o Hibisco demonstraram a viabilidade econômica do desidratador 216GII. Partindo de uma umidade inicial média de 88%, o produto atingiu uma umidade final de 6% após um ciclo de 8 horas de exposição solar indireta. O rendimento médio observado foi de 18,5%, valor considerado excelente para a categoria de flores e cálices desidratados, mantendo as propriedades organolépticas e a coloração característica.

A análise econômica revelou um salto significativo na valorização do produto. O Hibisco comercializado in natura nas hortas de Teresina possui um valor médio de R\$ 20,00/kg. Após o processo de desidratação e embalagem, o valor de mercado do produto processado atingiu R\$ 38,00/kg (proporcional ao peso seco), representando uma agregação de renda direta de 80%.

Portanto, a análise demonstra que a comercialização de produtos desidratados em porções de 10 g (estratégia de "snacking") reverte a inviabilidade econômica de todos os 12 produtos anteriormente deficitários. Ao elevar o preço por quilograma equivalente através do fracionamento, o Preço Final

do Desidratado (PFD) supera o custo in natura (Pi), gerando margens de lucro que variam de R\$ 5,62 a R\$ 72,00 por quilograma processado, dependendo do produto e da precificação da porção.

Foram realizadas análises microbiológicas em sete das 14 amostras, sendo elas: Beterraba, Tomate, Batata-doce, Inhame, Coentro, Açafrão da Terra, Pimenta Malagueta. As análises laboratoriais confirmaram a segurança microbiológica dos produtos, com ausência total de *Salmonella spp.* e *Staphylococcus aureus*, atendendo aos padrões da ANVISA em todas as amostras. Os resultados sugerem que o desidratador possa agir como um pasteurizador em função das faixas de temperatura de processamento.

CONCLUSÃO

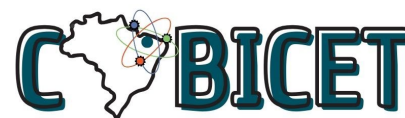
O estudo conclui que o desidratador solar Termofotovoltaico 216GII é uma ferramenta tecnicamente robusta e eficaz para a conservação de alimentos, operando com autonomia energética e garantindo a segurança microbiológica dos produtos. No entanto, a viabilidade econômica direta na venda por quilograma é restrita a produtos com alto rendimento e baixo fator de perdas, como a batata-doce e o tomate italiano. O achado mais relevante aponta que a sustentabilidade financeira do projeto para a agricultura familiar reside na mudança da estratégia de comercialização: a transição da venda a granel para o particionamento em porções de 10g (estratégia de *snacking*) reverte todos os cenários de déficit, transformando perdas em margens de lucro significativas. Assim, a tecnologia, aliada ao marketing de nicho e ao aproveitamento de PANCs, configura-se como uma solução viável para o fortalecimento da bioeconomia local.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Núcleo de Estudos e Pesquisas em Processamento de Alimentos (NUEPPA), do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal do Piauí (UFPI) por viabilizar a produção e análises relatadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar. Programa de Aquisição de Alimentos (PAA): Tabela de Preços de Referência. Brasília, DF, 2024.
- CADERNO PEDAGÓGICO. **Inovação e Tecnologias Sociais no Semiárido Brasileiro**. v. 22, n. 1, p. 45-62, 2025.
- CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. (Documentos / Embrapa Cerrados, 42).



FARKAS, I.; RENDIK, L. **Solar Drying Fundamentals and Applications**. 2. ed. Budapest: Engineering Press, 2011.

GOMES, R. S. et al. Análise da eficiência energética em desidratadores híbridos para agricultura urbana. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 15, n. 2, 2024.

LANA, Milza Moreira; MOITA, Antonio Williams. Qualidade visual e perdas pós-colheita de hortaliças folhosas no varejo: dois estudos de caso no Distrito Federal, Brasil. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2020. 61 p. (Documentos, 184). ISSN 1415-2312. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortaliças>. Acesso em: 20 maio 2026.

MACIEL, L. F. **Processamento de PANCs e agregação de valor na agricultura familiar**. Teresina: Editora UFPI, 2025.

MOUGEOT, L. J. A. Urban agriculture: definition, presence, potentials and risks. In: BAKKER, N. et al. (Ed.). Growing cities, growing food: urban agriculture on the policy agenda. Faldafing: ZEL, 2000. p. 99-117.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. New York: Marcel Dekker, 1990.

OLIVEIRA, L. C.; MARTINS, H. F.; NASCIMENTO, R. S. Estudo de viabilidade econômica para uma agroindústria de frutas desidratadas e minimamente processadas. Cuadernos de Educación y Desarrollo, v. 15, n. 11, 2023. DOI: 10.55905/cuadv15n11-106.

PELISSARI, C. et al. Sustentabilidade e desperdício de alimentos no Nordeste brasileiro. **Journal of Agrarian Studies**, v. 9, 2023.

REVISTA ECONÔMICA DO NORDESTE. **Tecnologias com energia solar para agroindústrias familiares: aplicações além dos processos naturais no Piauí-Brasil**. Fortaleza, v. 57, n. 2, 2026.

SILVA, A. S. et al. Processamento de hortaliças desidratadas: aspectos tecnológicos e econômicos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 25, n. 4, 2021.

ZILLES, R. et al. Sistemas fotovoltaicos aplicados ao processamento agrícola. **Energias Renováveis Hoje**, v. 12, 2024.