
VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SECADOR SOLAR DE EXPOSIÇÃO DIRETA E CONVECÇÃO FORÇADA PARA DESIDRATAÇÃO DA CULTIVAR “BRS VITÓRIA” PRODUZIDA NO VALE DO SÃO FRANCISCO

Economic viability of a solar dryer with direct exposure and forced convection for dehydrating the “BRS Vitória” cultivar produced in the São Francisco Valley

Marcos José Ribeiro Oliveira

Graduado em Ciências com Habilitação em Matemática pela Universidade de Pernambuco. Doutorando em Ciência e Tecnologia Ambiental. Prof. da Rede Estadual da Bahia. Avenida Cardoso de Sá, s/n, Campus Universitário. Petrolina, PE. marcos.ribeirooliveira@upe.br

Claudemiro de Lima Júnior

Engenheiro Mecânico. Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Prof. Associado do Colegiado de Matemática da Universidade de Pernambuco. Petrolina, PE. claudemiro.lima@upe.br

Nancy Lima Costa

Matemática. Doutora em Engenharia de Processos. Profa. Adjunta do Colegiado de Matemática da Universidade de Pernambuco, Petrolina, PE. nancy.costa@upe.br

Resumo: O Vale do São Francisco é uma região conhecida em todo o mundo pelo seu potencial na produção de frutas, em especial a uva. No entanto, mesmo com o avanço das tecnologias, ainda existe um desperdício dessa fruta. O uso de secadores solares para produção de uva desidratada é uma alternativa sustentável ao desperdício. Esta pesquisa teve como objetivo analisar a viabilidade econômica de um secador solar de exposição direta e convecção forçada usado na produção de uva-passa. Os resultados indicaram a viabilidade econômica desse equipamento, principalmente quando empregado em pequenas produções, uma vez que sua construção é de baixo custo e não usa combustíveis fósseis. Além disso, pode produzir 200kg de uva-passa por ano e apresenta uma taxa de retorno de apenas 9 meses.

Palavras-chave: desidratação, uva-passa, secador solar, BRS vitória.

Abstract: The São Francisco Valley is a region known throughout the world for its potential in fruit production, especially grapes. However, even with the advancement of technology, there is still a waste of this fruit. The use of solar dryers to produce dehydrated grapes is a sustainable alternative to despair. This research aimed to analyze the economic options of a direct exposure and convection solar dryer applied to the production of raisins. The results indicated the economic solutions of this equipment, especially when used in small productions, since its construction is low cost and does not use fossil fuels. Furthermore, you can produce 200 kg of raisins per year and have a return rate of just 9 months.

Keywords: dehydration, raisin, solar dryer, BRS victory.

1 INTRODUÇÃO

Petrolina é uma cidade pernambucana localizada no Vale do São Francisco, que se destaca por ser grande produtora de uva e apresenta uma média de radiação solar de 5,77 Wh/m² (Cresesb, 2023). O estado de Pernambuco é o segundo maior produtor de uva do Brasil e concentrou 23,3% de toda produção dessa fruta no ano de 2022, o que corresponde a aproximadamente 338.000 toneladas (IBGE, 2022). Nessa região do Brasil, a cultivar “BRS Vitória” ocupa cerca de 15% de toda a área cultivada no Vale do São Francisco (Zanella, 2019).

Essa cultivar foi desenvolvida pela Embrapa Uva e Vinho, que fica localizada na cidade de Jales (SP), sendo resultado do cruzamento da “CNPUV 681-29” e “BRS Linda”. Devido à qualidade dessa fruta, vários estudos apontam o seu potencial para a produção de uvas-passas, principalmente na região do Vale do São Francisco (Caldeira *et al.*, 2018).

Essa região produz em média cerca de 90.000 toneladas dessa cultivar por ano. Diante de uma produção desse porte, o desperdício é uma realidade, seja pela falta de conhecimento técnico para conservar as frutas, seja pelo alto custo, principalmente se a opção for por processos industriais que utilizam energia elétrica convencional. Cerca de 30% da produção de frutas são desperdiçados, afetando a economia de vários países (Palhares *et al.*, 2018). Isso representa uma oportunidade, principalmente para o pequeno produtor rural, que pode fazer parcerias com as fazendas e, através da secagem solar, agregar valor a um produto que seria descartado ou vendido a preços abaixo do mercado. Nesse caso, o processo de secagem surge como solução e método eficaz na preservação de alimentos, além de ser reconhecido e divulgado por grande parte comunidade científica (Mellalou *et al.*, 2023).

A secagem a céu aberto ainda é uma técnica muito utilizada, mas apresenta consideráveis desvantagens, como por exemplo a exposição dos produtos a insetos, poeira, chuva e vento, resultando em um produto de baixa qualidade (Tiwari *et al.*, 2016). Entretanto, existem vários tipos de equipamentos que podem ser empregados na desidratação de frutas e que preservam as principais características do produto a ser desidratado, além de protegê-lo das intempéries (Mustayen *et al.*, 2014).

A seleção do tipo de equipamento a ser utilizado é etapa fundamental para quem pretende iniciar um trabalho de secagem de frutas, pois existe uma variedade de equipamentos, que, a depender da sua configuração, podem apresentar tempo de secagem, rendimento térmico e custo de construção diferentes, apresentando viabilidade econômica ou não (Costa, 2022).

É possível encontrar na literatura alguns trabalhos sobre o tempo de secagem da uva e sua viabilidade econômica. Srivastava *et al.* (2021) desidrataram uva em um secador solar de exposição indireta com convecção natural no período de 20h. Elkhadraoui *et al.* (2015) utilizaram uma estufa para a secagem de uva chegando a 50h de secagem. O secador direto desenvolvido por Halak *et al.* (1996) precisou de 72h para finalizar o processo de secagem. Todos os equipamentos pesquisados apresentam resultados melhores do que o procedimento de secagem a céu aberto.

A Organização das Nações Unidas (ONU) prescreveu 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável, que fazem parte da Agenda 2030. Nesse contexto, o uso de secadores solares para a desidratação de frutas pode ajudar a efetivação dos objetivos 1, 7, 9, 11 e 12, quais sejam: erradicação da pobreza, energia acessível e limpa, cidade e comunidades sustentáveis, consumo e produção conscientes (ONU, 2015).

Analisar o comportamento dos indicadores econômicos envolvidos em um processo de secagem é fundamental para descobrir se um sistema tem sustentabilidade comercial. Assim, esta pesquisa teve como objetivo analisar a viabilidade econômica de um secador solar de exposição direta com convecção forçada para sua possível utilização por pequenos produtores rurais do Vale do São Francisco.

2 METODOLOGIA

O método utilizado neste experimento foi dividido em etapas, cada uma contribuindo para o resultado da pesquisa. Foi escolhida a fruta a ser desidratada e foram pesquisadas as principais informações nutricionais da uva-passa. Em seguida foram organizadas em tabelas as características do secador solar utilizado no experimento, materiais utilizados, quantidade e o custo. Além disso, foi descrito o procedimento de desidratação da uva, calculado o período de retorno e realizada a análise econômica e de sensibilidade.

2.1 Produto desidratado

O produto avaliado neste trabalho foi a cultivar “BRS Vitória”, colhida na Fazenda *Mix Fruit*, que está localizada no município de Casa Nova (BA). A curva de secagem foi determinada utilizando uma amostra de 37,2 g em estufa elétrica a 105°C, até o valor da massa ficar constante, de acordo com a metodologia usada por Vuataz *et al.* (2010) e Farias (2011). Além disso, essa uva apresenta valor energético elevado, sendo rica em proteínas e carboidratos, conforme dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais informações nutricionais da uva in natura

	Porção de 100 g
Carboidrato total	79,20 g
Cálcio	0,05 g
Energia	32,50 kcal
Fósforo	0,1 g
Fibras	3,70 g
Proteínas	3,07 g
Sódio	0,01 g

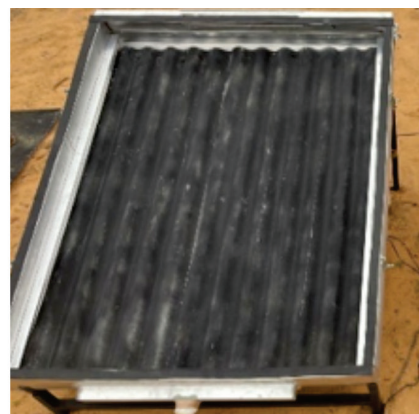
Fonte: Adaptado TBCTA (2023).

Para este experimento, foram pesquisados os preços da uva in natura que seria descartada e o preço de venda da uva-passa preta sem semente para os supermercados.

2.2 Descrição do equipamento

O equipamento escolhido para este estudo foi o secador solar de exposição direta com a convecção forçada desenvolvido pelos pesquisadores do Laboratório de Física e Energias Renováveis (LFER) da Universidade de Pernambuco (UPE – *campus* Petrolina) em parceria com o Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Esse equipamento é sustentável, podendo ser utilizado em pequenas e médias propriedades rurais de até 5 hectares, onde existem plantações de uva.

Figura 1 – Protótipo sistema de secagem solar



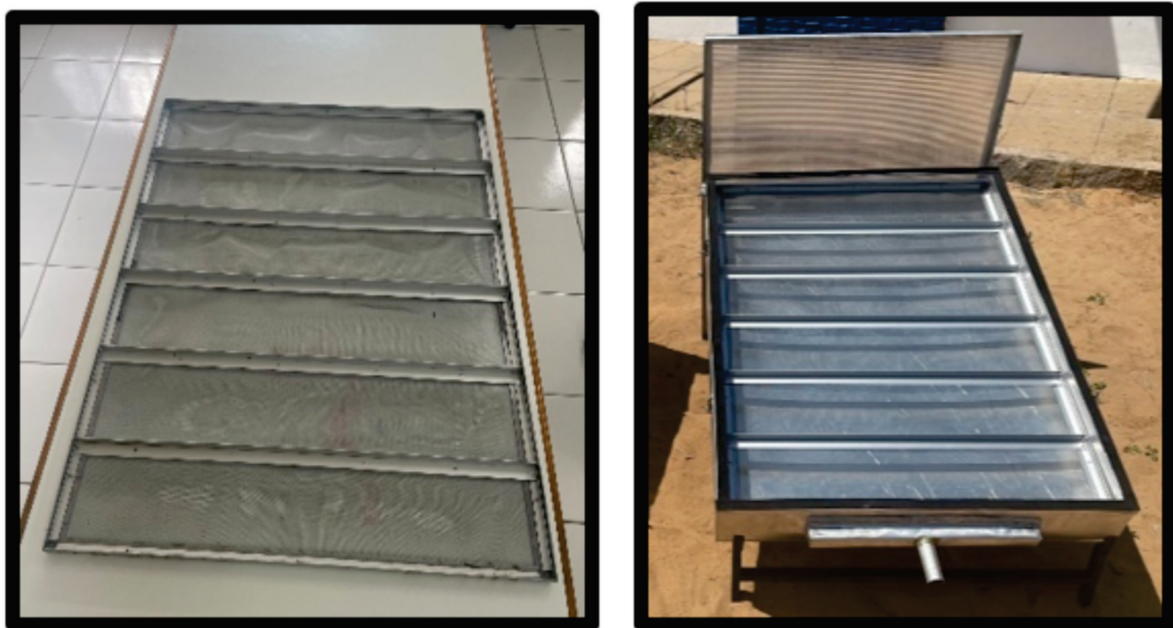
Fonte: Próprio autor (2023).

O protótipo foi posicionado com um ângulo de 20°, correspondendo à latitude da cidade de Petrolina (PE) mais 11° de inclinação (Figura 1). No caso de secadores instalados no hemisfério sul, recomenda-se posicioná-lo em direção ao norte geográfico e com uma inclinação de 10° a 15° somada à latitude local (Grilo *et al.*, 2007). Foi desenvolvida uma base de metal desmontável para garantir a inclinação escolhida, facilitar a logística e melhorar a eficiência energética do equipamento.

O coletor solar do sistema de secagem foi construído com placas de alumínio, para garantir a higiene do processo de secagem (Figura 1). A base e as laterais da caixa foram preenchidas com poliestireno expandido (isopor). Para facilitar a transferência de calor, foram colocadas duas telhas de fibrocimento de 4 mm pintadas de preto, para funcionar como se fossem um capacitor térmico.

A bandeja utilizada para depositar a uva a ser desidratada foi confeccionada com cantoneiras de alumínio de ½ polegada e tela tipo mosquiteiro (nylon), com o objetivo de melhorar a circulação do ar no interior do equipamento e facilitar a limpeza após o processo de secagem (Figura 2).

Figura 2 – Bandeja para depósito do produto



Fonte: Próprio autor (2023).

A tampa foi construída com cantoneiras de alumínio e policarbonato alveolar transparente, com espessura de 4 mm (Figura 3). A escolha por esse tipo de material se deu por causa dos espaços de ar presentes nesse tipo de policarbonato, pois aumentam o isolamento térmico do sistema. Além disso, o policarbonato é resistente a impactos, leve e apresenta capacidade de transmitir luz sem ser absorvida (Toro *et al.*, 2015).

Figura 3 – Tampa de policarbonato



Fonte: Próprio autor (2023).

O secador foi equipado com um cooler 12 volts adaptado em uma redução de PVC usada em sistemas hidráulicos. Esse sistema foi desenvolvido para forçar a ventilação e era alimentado por uma fonte ligada no sistema de energia elétrica convencional.

As principais características construtivas do equipamento utilizado neste trabalho estão resumidas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características construtivas e dimensionais do secador solar de exposição direta

Componente	Características	Especificações
Dimensões	(largura, comprimento e altura em cm)	90 x 120 x 12
Dimensões da entrada de ar	(largura e altura em cm)	50 x 30
Dimensões da saída de ar	(largura e altura em cm)	40 x 3
Capacitor térmico	Telha de fibrocimento pintada de preto fosco	1,2 x 0,90 cm
Cooler de computador usado na entrada dos sistemas de secagem		12 V e 0,23 A
Material da bandeja		Perfil em L de alumínio de ½ polegada e tela de nylon
Adaptador para cooler (diâmetro em cm)		5
Cobertura		Policarbonato alveolar 4 mm transparente
Volume interno (litros)		129,6
Área de incidência de irradiação solar (m ²)		1,08
Volume interno (litros)		201,6
Área de incidência de irradiação solar (m ²)		1,176

Fonte: Adaptado de Costa (2022).

Para a construção do protótipo, foi priorizada a compra de materiais leves, resistentes à ferrugem e de baixo custo. Na Tabela 3, estão descritos os materiais utilizados, quantidade, valor unitário e valor total.

Tabela 3 – Materiais utilizados na construção do secador solar de exposição direta

Material	Quantidade	Valor Unitário (\$)	Valor total (\$)
Chapa de Alumínio Liso 2500 x 1250 x 1,20 mm	02 unidades	116,47	232,94
Policarbonato alveolar transparente	1 chapa 4 mm (2,10 x 6,0)	45,76	45,76
Poliestireno expandido	1 placa (100 x 50 cm)	50,00	10,40
Cantoneira de alumínio	1 barra (½ polegada)	11,23	11,23
Tela de Nylon	1 malha (2 x 1 m)	24,96	24,96
Metalon	1 barra (6 m)	7,28	7,28

Material	Quantidade	Valor Unitário (\$)	Valor total (\$)
Folha EVA	2 unidades	1,04	2,08
Cola silicone	1 unidade	6,24	6,24
Rebite	130 unidades	0,031	4,03
Folha de isopor	1 unidade/folha (100 x 50 cm)	10,40	10,40
Dobradiça	2 unidades	2,60	5,20
Cooler	1 unidade	7,92	7,92
Redução PVC	1 unidade	4,17	4,17
Total			372,61

Fonte: Próprio autor (2023).

2.3 Procedimento de secagem

Antes de iniciar o experimento, foi calculada a curva de secagem. Foi separada uma amostra de 32,7 g da cultivar BRS e desidratada em uma estufa elétrica até que a massa ficasse constante, o que ocorreu a partir da décima primeira hora, finalizando com um teor de umidade no percentual de 82,48%.

Os experimentos ocorreram nos períodos na primavera (07/11/2022 a 11/11/2022) e no verão (28/02/2023 a 03/03/2023), sempre das 8h às 17h, no Laboratório de Física e Energias Renováveis da Universidade de Pernambuco (UPE), que fica localizado na cidade de Petrolina (PE). Em cada experimento, foram utilizados dois secadores com as mesmas dimensões e características, para que fosse analisada a influência da agitação ou não do produto no tempo de secagem e eficiência do equipamento.

O produto foi distribuído nas bandejas dos equipamentos, que tem capacidade para 10 kg. Foram medidas as seguintes variáveis: massa da uva, temperatura e umidade do ar ambiente, temperatura e umidade relativa do ar na entrada e saída do secador solar. Para isso foi utilizado um sistema de medição chamando SMAD, composto por um Arduino Mega 2560 R3, cabo USB, display LCD (16x2), Módulo RTC, Módulo leitor de SD, Módulo DHT22.

Para saber se o teor de umidade da amostra atingia o percentual preconizado pela Anvisa, ou seja, de 25%, a amostra foi pesada de hora em hora e os dados lançados em uma planilha (Brasil, 2005). Para calcular a massa, foi usada uma balança digital. Também foi feito o acompanhamento visual da aparência do produto para ver o grau de enrugamento, tamanho, alteração da cor e uniformidade. Quando a amostra não atingia a massa esperada no fim do dia, todas as aberturas do equipamento eram vedadas, para o processo de secagem se iniciar no dia seguinte (Costa, 2022).

Foram calculados os custos para construção dos secadores, custos de operação, tempo secagem, preço da uva *in natura* e preço da uva desidratada vendida em supermercados da região.

2.4 Indicadores econômicos

Para a análise da viabilidade econômica foram utilizados os seguintes indicadores: quantidade de uva desidratada, custo do capital, custo total de produção, custo de secagem por quilo do produto e média de irradiação solar (Ekka, 2021).

Inicialmente, estimamos a massa de uva desidratada no período de um ano com a ajuda da Equação 1.

$$M_y = \frac{Q_{us} \cdot D_a}{D_b} \quad (\text{Equação 1})$$

Na qual:

M_y é a quantidade de uva desidratada no período de um ano (kg), Q_{us} é a quantidade de uva-passa produzida em um lote de secagem (kg), D_a é a quantidade de horas que o secador é usado no período de um ano (h) e D_b é o tempo necessário para secar um lote de uva (h).

Em seguida foram calculados o custo de capital anualizado do secador e o valor residual com a aplicação das Equações 2, 3 e 4.

$$C_{ac} = C_{cc} \cdot F_c \quad (\text{Equação 2})$$

Na qual;

C_{ac} é o custo de capital anualizado do secador (USD), C_{cc} é o custo de capital total do secador (USD) e o fator de recuperação de capital F_c .

$$F_c = \frac{d(1+d)^n}{(1+d)^n - 1} \quad (\text{Equação 3})$$

$$F_s = \frac{d}{(1+d)^n - 1} \quad (\text{Equação 4})$$

Na qual;

F_c é o fator de recuperação de capital, (F_s) o fator de resgate do fundo, d é a taxa de juros (%) e n é a vida útil do equipamento.

Segundo Singh & Gaur (2021), o custo total anualizado do secador foi calculado considerando o valor gasto na construção do secador, manutenção, valor residual e custo anual do cooler, conforme a Equação 5.

$$C_a = C_{ac} + C_m + C_f - V_a \quad (\text{Equação 5})$$

Na qual;

C_a é o custo total anualizado do secador (USD), C_{ac} é o custo de capital anualizado do secador (USD), C_m é o custo de manutenção anual (3% do custo de capital anual), C_f é o custo operacional anual do cooler (USD) e V_a é o valor de recuperação (10% do custo de capital anual).

Para encontrar o custo de secagem por cada quilo de uva desidratada no secador utilizado neste trabalho, foi usada a Equação 6.

$$C_s = \frac{C_a}{M_y} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

C_s é o custo de secagem por quilo (USD), C_a é o custo anual do secador (USD) e M_y é a quantidade de uva desidratada no período de um ano (kg).

Para descobrir o custo total de produção, o faturamento anual e o lucro foram estimados por meio das Equações 7, 8 e 9.

$$C_t = (M_y \cdot C_s) + V_0 \quad (\text{Equação 7})$$

Na qual:

C_t é o custo total de produção (USD), C_s é o custo de secagem por quilo (USD), M_y é a quantidade de uva desidratada no período de um ano (kg) e V_0 é o custo anual da mão de obra empregada na produção da passa.

$$C_t = (M_y \cdot C_s) + V_0 \quad (\text{Equação 8})$$

Na qual:

F_a é o faturamento anual (USD), M_y é a quantidade de uva desidratada no período de um ano (kg) e P_v é o preço de venda.

$$L_a = F_a - C_t \quad (\text{Equação 9})$$

Na qual:

L_a é o lucro anual (USD), F_a é o faturamento anual (USD) e C_t é o custo total de produção (USD).

2.5 Período de retorno

O período de retorno ou “*payback*” é uma análise fundamental na análise da viabilidade econômica, pois estima o tempo necessário para recuperar o investimento realizado no negócio (Lima Júnior *et al.*, 2015).

Para prever o número de anos necessários para o retorno financeiro, foi usada a Equação 10, conforme método utilizado por Singh e Gaur (2021).

$$N = \frac{\ln \left(1 - \left(\frac{C_{cc}}{\left[\frac{S_{pc} \cdot \left(C_{fp} \cdot \frac{M_f}{M_d} \right) \cdot M_d}{D} \right] \cdot D(1+i)^{j-i}} \right) \cdot (d-i) \right)}{\ln \left(\frac{1+i}{1+d} \right)} \quad (\text{Equação 10})$$

Em que:

N é o tempo de retorno do investimento (anos), C_{cc} é o custo de capital total do secador (USD), i é a taxa de inflação (5,79%), d é a taxa de juros (13,75%), j é o número de anos considerado, D é o número de dias que o secador opera em um ano, S_{pc} é o preço de venda das frutas secas por kg, C_{fp} é o custo do produto fresco, M_f é a quantidade de produto fresco colocado dentro do secador (Kg) e M_d é a quantidade de lotes de secagem (refere-se a uma quantidade específica do produto desidratado em um único processo).

2.6 Análise de sensibilidade

Na análise de viabilidade econômica, pode ser utilizado como parâmetros o “pior cenário” ou a “média”. Optou-se pelo último, visto que a análise de sensibilidade contempla também o “pior cenário” (Lima Júnior *et al.*, 2015).

A análise de sensibilidade visa identificar os fatores que exercem influência nos resultados financeiros, levando em consideração uma variação de -50% e +50% do valor-base. Os dados encontrados nesse tipo de análise permitem traçar cenários baseados na análise da viabilidade econômica, verificando a viabilidade do secador diante de alterações de preços praticados no mercado (Lima Júnior *et al.*, 2015).

Foram construídos gráficos para explicar a influência do preço da uva *in natura*, preço de venda das passas, investimento inicial e tempo de secagem, com o objetivo de identificar melhor a sensibilidade dos parâmetros analisados.

Para realizar esse tipo de análise, é necessário calcular o Valor Presente Líquido (VPL), que é a soma dos valores presentes dos fluxos de caixa estimados em uma determinada aplicação, que são encontrados partindo de uma taxa de juros apropriada em determinado período de tempo, conforme Equação 11 (Lima Júnior *et al.*, 2015).

$$VLP = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - CF_0 \quad (\text{Equação 11})$$

Na qual:

VLP é o valor presente líquido, CF_0 é o investimento inicial, FC_j é o fluxo de caixa, i é a taxa de juros e j é o tempo.

Após encontrar o valor presente líquido, foi calculado o custo de oportunidade (TMA), isto é, a taxa correspondente ao retorno de um investimento, caso fosse realizada uma aplicação financeira. Para este trabalho, essa taxa foi considerada de 10% ao ano.

É importante fixar um parâmetro que possa ser comparado com a TMA. Para isso, foi calculada a Taxa Interna de Retorno (TIR), ou seja, corresponde a uma taxa de desconto, que é aplicada a um determinado fluxo de caixa, e que quando for maior que TMA, mostrará um indicativo de que o investimento do projeto apresenta viabilidade (Lima Júnior *et al.*, 2015). Para encontrar o valor da TIR, foi utilizada a Equação 12.

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (\text{Equação 12})$$

Na qual:

FC_t é o valor presente das entradas de caixa (USD), I_0 é o investimento inicial (USD), TIR é a taxa interna de retorno (%), n é o tempo de desconto do último fluxo de caixa (ano) e t é o tempo de desconto de cada entrada de caixa (ano).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta parte do estudo, serão apresentados e discutidos os resultados da análise da viabilidade econômica e da sensibilidade financeira para os dados encontrados nos experimentos realizados na primavera e verão.

3.1 Dados do processo de secagem da uva

Na Tabela 4, são apresentados os dados encontrados nos ensaios que serviram de parâmetros para a análise de viabilidade econômica. Foi possível estimar que, em média, o equipamento produz 2,31 kg de uva desidratada em 4,1 dias em 87 secagens por ano, utilizando sua capacidade máxima, que é de 9,6 kg.

Tabela 4 – Parâmetros para análise econômica do secador solar de exposição direta

Estação	Primavera		Verão			
	Secador	1	2	1	2	Média
Custo do secador	372,61 USD	372,61 USD	372,61 USD	372,61 USD	372,61 USD	372,61 USD
Capacidade uva <i>in natura</i>	9,6 kg	9,6 kg	9,6 kg	9,6 kg	9,6 kg	9,6 kg
Capacidade produtiva de passa	2,34 kg	2,35 kg	2,31 kg	2,27 kg	2,31 kg	2,31 kg
Tempo de* secagem para produzir 1 lote (dias)	4,5 dias	5 dias	3,5 dias	3,5 dias	4,1 dias	4,1 dias
Nº de secagem por ano	78	70	100	100	87	87
Produção anual	179,40 kg	164,5 kg	230 kg	227 kg	200,2 kg	200,2 kg
Custo de produção anual**	420,8 USD	419,09 USD	426,23 USD	426,34 USD	423,08 USD	423,08 USD
Faturamento anual***	936,46 USD	840,42 USD	1.200,6 USD	1.200,6 USD	1.044,52 USD	1.044,52 USD
Lucro anual	515,49 USD	421,33 USD	774,37 USD	774,26 USD	621,36 USD	621,36 USD

Fonte: Próprio autor (2023).

Notas: * Número de dias necessários para retirar um lote, levando em consideração que o processo de secagem era interrompido no período noturno; ** Levando em consideração que o próprio produtor rural vai operar o equipamento; *** Considerando que o produtor vende para os supermercados a 5,22 USD.

Os equipamentos mostraram melhor desempenho no verão, quando os picos de radiação solar foram maiores, se comparados aos dados obtidos na primavera, conforme os gráficos das Figuras 4, 5, 6 e 7. Nessa estação, o tempo médio de secagem de 9,6 kg foi de apenas 3,5 dias, aumentando a previsão para 100 secagens por ano. Considerando a carga utilizada nos ensaios, o tempo de secagem é bom em comparação com o tempo médio de secagem obtido por Tawfik *et al.* (2023), em que foram necessários 2,4 dias para realizar a secagem de 1,5 kg de uva em Zagagig no Egito.

Figura 4 – Temperatura de entrada e saída no secador solar (primavera)



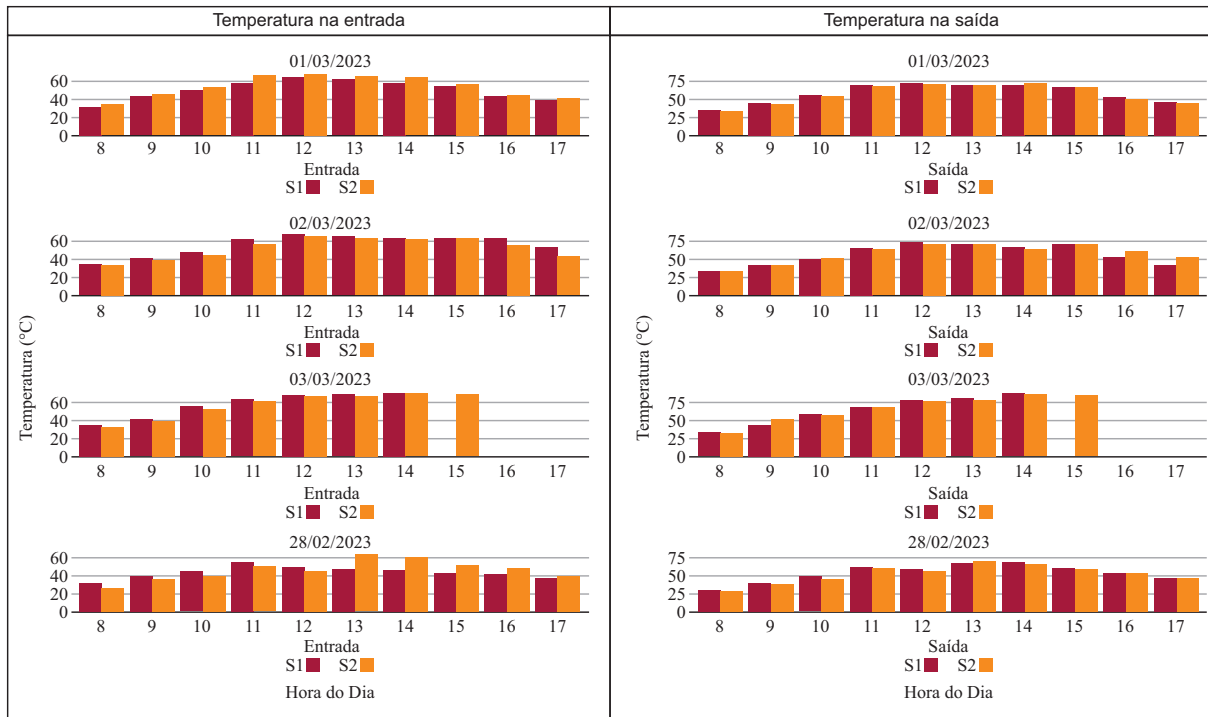
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 5 – Umidade de entrada e saída no secador solar (primavera)



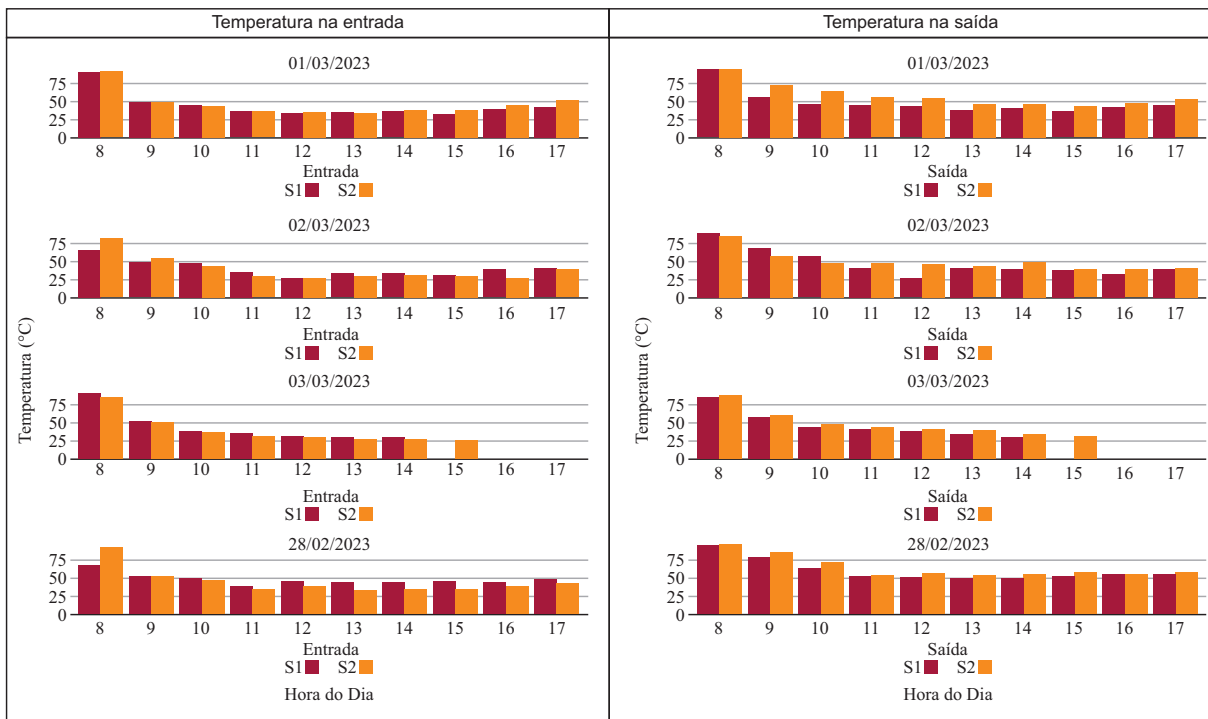
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 6 – Temperatura de entrada e saída no secador solar (verão)



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 7 – Umidade de entrada e saída no secador solar (verão)



Fonte: Próprio autor (2023).

3.2 Viabilidade econômica

No Vale do São Francisco, devido à distribuição de irradiação solar e a possibilidade de 2,5 safras anuais, é possível desidratar uva o ano todo, ou seja, 365 dias por ano. No entanto, para este trabalho foram considerados apenas 350 dias, uma vez que o equipamento precisa de alguns dias para manutenção preventiva e corretiva.

Assim, existe a possibilidade de o produtor utilizar o equipamento por 3.120 horas ou 87 lotes de passa no período de um ano, considerando que cada lote a ser desidratado nesse equipamento requer, em média, 37,7 horas de secagem para produzir 2,3 kg de uva desidratada, conforme dados de experimentos realizados na primavera e no verão no Laboratório de Física e Energias Renováveis da Universidade de Pernambuco, *campus* Petrolina. Na Tabela 5, estão apresentados os principais dados encontrados nos experimentos realizados na primavera e no verão (média dos dois períodos), além de informações adicionais encontradas em banco de dados governamentais.

Tabela 5 – Parâmetros para análise econômica

Item	Parametrização
Custo de construção do secador	372,61 USD
Custo de manutenção	3% do custo de capital
Valor residual	10% do custo de capital
Taxa de juros	13,75%
Taxa de inflação	5,79%
Taxa de juro real	8,16%
Custo de eletricidade	0,15 USD/kwh
Imposto	8% do valor de venda
Capacidade do secador	10kg de uva <i>in natura</i>
Produção anual média do secador	200,2 kg
Vida útil do secador	20 anos
Tempo médio de secagem	4,1 dias
Custo médio da uva <i>in natura</i> (descarte)	0,10 USD/kg
Preço de venda uva-passa para mercado do produtor	3,04 USD/kg
Preço de venda da uva-passa para os supermercados	5,21 USD/kg

Fonte: Adaptado (Philip *et al.*, 2022).

O custo de capital do secador não representa risco à viabilidade econômica do equipamento, pois o faturamento anual é suficiente para cobrir as despesas, conforme dados apresentados na Tabela 4. O equipamento tem potencial para produzir 200,2 kg de uva-passa por ano, o que representa a possibilidade de apurar 621,36 USD de lucro em um ano de operação.

O tempo de retorno tem relação com o teor de umidade do produto que está sendo desidratado. A uva tem alto teor de umidade e, por isso, o secador deve ser capaz de manter uma temperatura interna do ar mais alta e o teor de umidade mais baixo, para que o armazenamento térmico aumente e o tempo de secagem diminua (Srivastava *et al.*, 2021). Na Tabela 6, são apresentados dados comparativos entre o tempo de secagem no equipamento deste trabalho com o tempo de secagem de outros autores.

Tabela 6 – Comparação do tempo de secagem da uva

Pesquisador/ano	Tipo de secador	Tempo de retorno
<i>Costa</i>	Exposição direta convecção forçada	9 meses
<i>Srivastava et al.</i>	Estufa natural	19 meses
<i>Mellalou et al.</i>	Estufa convecção híbrida	15 meses
	Estufa convecção híbrida e forçada	8 meses
<i>Elkhadraoui et al.</i>	Híbrido	19 meses
<i>Lutz e Cols</i>	Túnel	12 a 36 meses

Fonte: Próprio autor (2023).

A taxa de retorno encontrada neste estudo foi de 9 meses. Isso mostra que o risco do negócio é baixo, o capital pode ser recuperado mais rápido e sinaliza para a possibilidade do pequeno produtor começar um negócio de secagem de uvas com mais equipamentos.

3.3 Sensibilidade econômica

O investimento inicial para construção do secador solar utilizado neste trabalho e de operacionalização do processo de secagem realizado por um pequeno agricultor está em torno de 372,61 USD. O preço médio do produto *in natura* foi de 0,11 USD e de venda 5,22 USD.

Por se tratar de um produto agrícola, é possível que exista uma variação nos preços da matéria-prima e no preço de venda, apresentando reflexos nos custos de produção e, conseqüentemente, no faturamento. Na Tabela 7, são apresentados os parâmetros que nortearam a análise de sensibilidade.

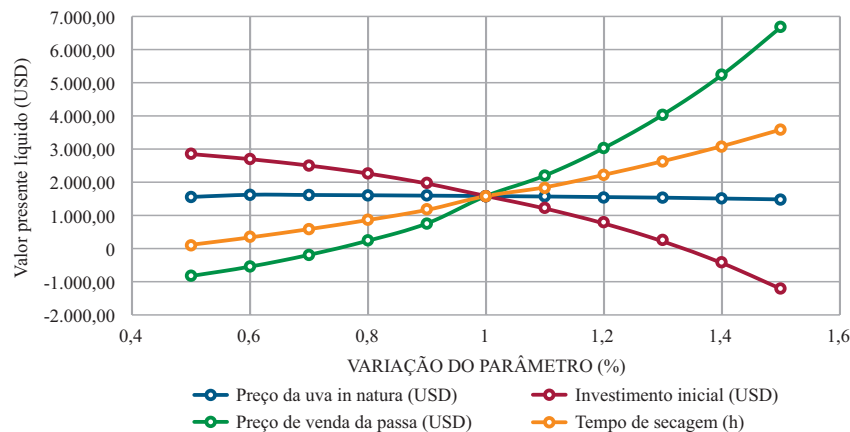
Tabela 7 – Parâmetros para análise de sensibilidade econômica

Item	Parametrização
Investimento inicial	372,61 USD
Valor Presente Líquido (VPL)	1572,71 USD
Taxa Interna de Retorno (TIR)	136%
Custo de Oportunidade (TMA)	10%
Lucratividade	5,22 USD
Tempo de <i>Payback</i>	9 meses

Fonte: Próprio autor (2023).

A análise de sensibilidade da possibilidade de produção e comercialização da uva-passa permitiu verificar que a variação dos parâmetros do preço *in natura* da uva, investimento inicial e tempo de secagem podem tornar o VPL positivo (Figura 8). Se o preço da uva *in natura* aumentar ou diminuir em 50%, o VPL ainda será positivo, indicando a viabilidade econômica da secagem.

Figura 8 – Análise da sensibilidade financeira da produção e comercialização da uva-passa



Fonte: Próprio autor (2023).

A variação do investimento inicial, preço de venda e tempo de secagem podem tornar o investimento mais atrativo, obtendo-se um VPL positivo, conforme os dados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Variação do VPL conforme o parâmetro analisado

Parâmetro	Varição dos valores	Varição do VPL (R\$)
Preço <i>in natura</i> da uva (USD)	0,03	1.554,32
	0,04	1.621,65
	0,05	1.614,71
	0,06	1.605,99
	0,08	1.595,11
	0,10	1.581,50
	0,12	1.567,89
	0,14	1.551,59
	0,17	1.531,99
	0,21	1.508,49
Preço de venda da uva-passa (USD)	0,25	1.480,29
	1,67	-829,70
	2,09	-546,23
	2,62	-191,22
	3,27	235,24
	4,09	757,27
	5,11	1.581,50
	6,13	2.201,75
	7,36	3.030,04
	8,83	4.036,57
Investimento inicial (USD)	10,60	5.233,47
	12,72	6.675,22
	122,10	2.846,62
	152,62	2.692,48
	190,78	2.499,77
	238,47	2.258,94
	298,09	1.957,04
	372,61	1.581,50
	447,13	1.205,20
	536,56	753,56
Tempo de secagem (h)	643,87	211,63
	772,64	-438,67
	927,17	-1.219,06
	1842	111,09
	2047	334,94
	2274	282,86
	2527	859,13
	2808	1.165,99
	3120	1.581,50
	3432	1.847,43
3775	2.221,99	
4153	2.634,77	
4568	3.087,96	
5025	3.587,02	

Fonte: Próprio autor (2023).

O uso de materiais reciclados na construção do equipamento de secagem, ou sua aquisição por meio de associações em parceria com o governo, pode diminuir o investimento inicial e, conseqüentemente, aumentar o VPL e o tempo de retorno. No entanto, podemos observar que os parâmetros mais importantes para a viabilidade econômica da produção e comercialização da uva-passa são o preço do produto

a ser desidratado e o preço de venda do produto final, uma vez que interferem diretamente no custo de produção e no faturamento, respectivamente.

Quanto maior for o preço de venda da uva-passa, maior será o VPL, indicando que este parâmetro é fundamental para a viabilidade econômica. Essa variável impacta diretamente na receita e margem de lucro, tornando-se um ponto de equilíbrio do negócio, tornando-o mais ou menos competitivo no mercado. No gráfico da Figura 8, podemos verificar que o VPL começa a ficar positivo quando o valor de venda chega a 3,27 USD, ou seja, a partir desse ponto o processo de secagem começa a se mostrar economicamente viável.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O secador solar se mostrou econômico e de fácil construção, revelando um custo médio de produção anual de 423,08 USD, lucro anual de 621,36 USD e período de retorno de 9 meses. Quanto maior for o preço de venda da uva-passa produzida, menor será o tempo de retorno e maior será o VPL, sendo uma alternativa sustentável em relação à secagem que utiliza equipamentos elétricos.

O secador solar utilizado na pesquisa pode ser utilizado por pequenos produtores que moram em áreas rurais onde existem plantações de uva, reduzindo o desperdício, agregando valor ao produto e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do Vale do São Francisco.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Resolução RDC nº 272/05 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).**

Aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis. Brasília, DF: Diário Oficial, 23 set. 2005.

CALDEIRA, V.; GUIMARÃES, S.; FREITAS, S.; DE CÁSSIA NASSUR, R. Avaliação da manutenção da qualidade de uvas passa BRS Vitória após aplicação de pré-tratamento químico. **Enciclopédia Biosfera**, n. 15, p. 27, 2018. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/515>. Acesso em: jul. 2023.

COSTA, N. L. **Desenvolvimento e análise experimental de um sistema de secagem solar em regiões com condições meteorológicas distintas.** Orientador: Marcelo Bezerra Grilo. 2022. 240 f. Tese (Doutorado). Curso de engenharia de Processos. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/24988>. Acesso em: mar. 2023.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA EM ENERGIA SOLAR E EÓLICA SALVO BRITO. Disponível em: www.cresesb.cepel.br. Acesso em: jul. 2023.

EKKA, J. P.; PALANISAMY, M. Performance assessments and techno and enviro-economic analyses on forced convection mixed mode solar dryer. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 5, p. e13675, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13675> Acesso em: ago. 2023.

ELKHADRAOUI A.; KOOLI S.; HAMD I.; FARHAT A. Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed-mode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape. **Renew. Energy**, 2015, 77:1-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.090>. Acesso em: jul. 2023.

FARIAS, R. P. **Secagem de banana em estufa: efeitos térmicos e geométricos.** 2011. 160 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, PB, 2011.

GRILO, M. B.; LEITE, A. P. F.; ANDRADE, R. R. D.; BELO, F. A.; MEUNIER, F. Experimental thermodynamic cycles and performance analysis of a solar powered adsorptive icemaker in hot humid climate. **Renewable Energy**, v. 32, p. 697-712, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.03.002>. Acesso em: ago. 2023.

HALLAK, H. *et al.* The staircase solar dryer: design and characteristics. **Renewable Energy**, v. 7, n. 2, p. 177-183, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(95\)00127-1](https://doi.org/10.1016/0960-1481(95)00127-1). Acesso em: jul. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de uva em 2022**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/uva/br>. Acesso em: jul. 2023.

JAIRAJ, K. S.; SINGH, S. P.; SRIKANT, K. A review of solar dryers developed for grape drying. **Solar energy**, v. 83, n. 9, p. 1698-1712, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.06.008>. Acesso em: jul. 2023.

LIMA JÚNIOR, C.; LIMA, R. L. F.; LIBERAL, B. G.; GUERRERO, J. R. H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. (2015). Viabilidade econômica do uso energético de lenha da caatinga sob manejo sustentável. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 156-166. Disponível em: <https://11nq.com/JjAwd>. Acesso em: jul. 2023.

MELLALOU, A.; RIAD, W.; BACAOUI, A.; OUTZOURHIT, A. Impact of the greenhouse drying modes of two-phase olive pomace on the energy, exergy, economic and environmental (4E) performance indicators. **Renewable Energy**, n. 210, p. 229-250, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.04.074>. Acesso em: jul. 2023.

MIOT, H. A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **Jornal vascular brasileiro**, v. 16, p. 88-91, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1677-5449.041117>. Acesso em: out. 2023.

MUSTAYEN, A. G. M. B.; MEKHILEF, S.; SAIDUR, R. Performance study of different solar dryers: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 34, p. 463-470. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.020>. Acesso em: mai. 2023.

ONU - ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. New York: United Nations, 2015. Disponível em: <https://encurtador.com.br/xyAX5>. Acesso em: out. 2023.

PALHARES, J. C.P.; OLIVEIRA, V. B. V.; FREIRE JUNIOR, A.; PRADO, H. A. **Consumo e produção responsáveis: contribuições da Embrapa**. Brasília: EMBRAPA, 2018.

PHILIP, N.; DURAI PANDI, S.; SREEKUMAR, A. Techno-economic analysis of greenhouse solar dryer for drying agricultural produce. **Renewable Energy**, 199, 613-627, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.08.148>. Acesso em: abr. 2023.

SINGH, P.; GAUR, M. K. (2021). **Environmental and economic analysis of novel hybrid active greenhouse solar dryer with evacuated tube solar collector**. Sustainable Energy Technologies and Assessments. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101428>. Acesso em: jul. 2023.

SRIVASTAVA, A.; ANAND, A.; SHUKLA, A.; KUMAR, A.; BUDDHI, D.; SHARMA, A. A comprehensive overview on solar grapes drying: Modeling, energy, environmental and economic analysis. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-5463-6_42. Acesso em: jun. 2023.

TAWFIK, M. A.; OWEDA, K. M.; ABDEL-WAHAB, M. K.; ABD ALLAH, W. E. A New Mode of a Natural Convection Solar Greenhouse Dryer for Domestic Usage: Performance Assessment for Grape Drying. **Agriculture**, n. 13, p. 1046, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13051046>. Acesso em: jun. 2024.

TBCA - TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS. Universidade de São Paulo (USP). **Food Research Center (FoRC)**. Versão 7.2. São Paulo, 2023. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>. Acesso em: out. 2023.

_____. Universidade de São Paulo (USP). **Food Research Center (FoRC)**. Versão 7.2. São Paulo, 2023. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>. Acesso em: out. 2023.

TIWARI, S.; TIWARI, G. N.; AL-HELAL, I. M. Development and recent trends in greenhouse dryer: A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 65, p. 1048-1064, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.070>. Acesso em: jul. 2023.

TORO, J. D. N.; RUSCHEL, C. S.; KRENZINGER, A. Estudo da transmitância do policarbonato alveolar em diferentes ângulos de incidência para a cobertura de um coletor solar passivo. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 6, n. 1, p. 11-18, 2015.

VUATAZ, G.; MEUNIER, V.; ANDRIEUX, J. C. Abordagem TG-DTA para projetar métodos de referência para determinação do teor de umidade em alimentos em pó. **Química alimentar**, v. 2, n. 122, p. 436-442. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814609007675>. Acesso em: mar. 2023.

ZANELLA, V. Embrapa. **‘BRS Vitória’, a pequena notável**. Disponível em: <http://surl.li/jypdr>. Acesso em: ago. 2023.