

CONEM2024-1377

PROJETO, DESENVOLVIMENTO E TESTE DE FOGÕES SOLARES TIPO CAIXA

Jessika Alves Vieira Gomes, jessika.alves@academico.ifpb.edu.br¹
Letícia dos Santos Sales, sales.leticia@academico.ifpb.edu.br¹
Ryan Porto Santos, ryan.porto@academico.ifpb.edu.br¹
Wesley Emanuel Querino de Brito, wesley.emanuel@academico.ifpb.edu.br¹
Bruno Allison Araújo, araujo@ifpb.edu.br²
Emerson Jerônimo, emerson@ifpb.edu.br³

¹Alunos do Curso Técnico em Sistema de Energia Renovável no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - campus Esperança

²Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Esperança

³Técnico de laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Esperança

Resumo: Este estudo traz o projeto, desenvolvimento e teste de fogões solares tipo caixa como uma alternativa sustentável para o cozimento de alimentos, com foco na cidade de Esperança, Paraíba, Brasil, e conduzido no Instituto Federal da Paraíba (IFPB). Inicialmente, aborda-se a importância das fontes renováveis de energia, especialmente a solar, diante dos desafios ambientais e energéticos globais. Considerando a predominância do uso de lenha para cocção no Brasil e seus impactos, destaca-se a necessidade de promover fogões solares. O estudo analisa dois fogões solares tipo caixa, diferenciados por materiais e estruturas ao redor da panela, visando compreender as variações de temperatura durante o aquecimento da água. Os fogões foram construídos com materiais acessíveis e submetidos a testes práticos, acompanhados de monitoramento da temperatura ambiente, dos fogões e da água na panela. Durante um monitoramento realizado das 10 horas da manhã até as 14h horas, em intervalos de 10 minutos, foram registradas as temperaturas alcançadas. Observou-se que o revestimento de papel alumínio resultou em temperaturas mais elevadas em comparação com a fita aluminizada em todas as situações testadas. A influência da estrutura ao redor da panela não foi significativa nos valores médios de temperatura ao longo dos testes, mas mais experimentos são necessários para confirmar seu efeito na estabilidade das temperaturas máximas. Os resultados mostraram que, apesar de variações modestas na temperatura ambiente, os fogões foram capazes de atingir temperaturas suficientes para a cocção de alimentos. O revestimento de papel alumínio demonstrou uma melhor eficiência na retenção de calor, resultando em temperaturas mais altas na água da panela em comparação com a fita aluminizada. Assim, conclui-se que os fogões solares do tipo caixa, especialmente com revestimento de papel alumínio, são eficazes para a cocção de alimentos e aquecimento de água. A estrutura ao redor da panela precisa de mais investigação para determinar seu impacto na estabilidade dos patamares máximas das curvas de temperaturas atingidas pelos fogões.

Palavras-chave: Cozimento, Fogão Solar, Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

As fontes de energia renováveis são aquelas que podem ser repostas pela natureza. Entre as fontes renováveis, incluem-se a energia hídrica, eólica, de biomassa e a solar (Silva *et al.*, 2009; Macedo Neto *et al.*, 2011).

Essas fontes de energia renováveis têm o potencial de fornecer uma quantidade significativa de energia, ajudando a mitigar os impactos das mudanças climáticas e promovendo a sustentabilidade. No entanto, também existem desafios associados à sua implementação e uso, incluindo questões técnicas, econômicas e regulatórias (Silva *et al.*, 2009; Macedo Neto *et al.*, 2011).

Ainda no campo das fontes de energias e dos desafios a serem superados, uma das grandes problemáticas está relacionada à queima de carvão e lenhas por parte de grupos de pessoas que não têm acesso a outras fontes de energia. No sul, as baixas temperaturas e os costumes locais favorecem o uso de lenha como combustível; em contrapartida, no norte e nordeste, a condição econômica mais limitada da população leva ao emprego mais comum de combustíveis sólidos, assim como relata Gioda *et al.* (2019).

Conforme o Balanço Energético Nacional (2012 *apud* Souza *et al.*, 2014), “a lenha é provavelmente a fonte de energia mais antiga usada pelo homem e continua tendo grande importância na Matriz Energética Brasileira, participando com cerca de 10% da produção de energia primária, sendo inclusive empregada por muitas famílias na cocção de alimentos, o que pode provocar sérios problemas de saúde.

Assim, destaca-se a urgência na busca por alternativas eficientes para as populações que fazem uso de lenha. Logo, desenvolver uma tecnologia de cozimento limpa é a necessidade do momento, que inclui fogões solares, como já relatado (Varun *et al.*, 2022).

De acordo com Rodrigues *et al.* (2023, p.3), o Brasil detém uma grande faixa de território localizada na zona intertropical, sendo um grande potencial para utilização de luz solar. Entretanto, a energia solar ainda é pouco explorada, e não contribui de forma relevante para a matriz energética do país.

Conforme a Estação Solarimétrica da UFPB - Laboratório de Energia Solar e GOMES *et al.* (2024), o estado da Paraíba se beneficia de deter os índices de radiação solar entre os mais elevados do país, a região usufrui de temperaturas médias próximas a 28°C e baixa ocorrência de nuvens e as estatísticas da estação indicam que o estado possui um índice médio anual de radiação solar de aproximadamente 5.500 Wh/m².

Uma alternativa promissora é a tecnologia de fogões solares, que podem ser de diferentes tipos, como os tipo caixa e de foco parabólicos (Goyal e Eswaramoorthy, 2023). Esses dispositivos são de fácil construção, manutenção e de excelente aplicação em regiões áridas e remotas, trazendo como vantagens a possibilidade de ser fabricado a partir de materiais reutilizados e de seu funcionamento se dar em locais ao ar livre e com incidência solar por longas horas. Porém, trata-se de uma ferramenta que não funciona à noite e tem sua eficiência reduzida em dia com índices de nebulosidade, conforme relatado por Gomes *et al.* (2024).

Para que eles funcionem adequadamente, é necessário que os fogões solares atendam algumas condições. De acordo com Solar Cookers Internacional (2020) *apud* (Neto e Guerra, 2020) algumas dessas condições são: ter um espaço aberto, ensolarado por longas horas e sem muito vento, onde os alimentos estejam seguros, já que eles não operam de noite nem em dia com nuvens; utilizar painéis metálicos escuros, rasos e leves com tampas escuras e firmes para conservar o calor e umidade; envolver a panela com sacos plásticos transparentes ou vidros para reter o calor e aumentar o rendimento do cozimento pelo efeito estufa; e adicionar uma ou mais superfícies brilhantes no fogão para refletir mais luz solar na panela, o que eleva a quantidade de calor no sistema.

É importante salientar que o fogão solar serve mais como um complemento, e não um substituto, ao fogão tradicional. Sua eficácia está atrelada às condições climáticas, sendo ideal para uso ao ar livre e em períodos ensolarados. Seu desempenho é limitado durante a chuva ou no período noturno. Adicionalmente, o tempo necessário para cozinhar varia conforme o tipo de alimento preparado, como propôs Santos e Ferraretto (2016).

Recentemente, Goyal e Eswaramoorthy (2023) relatam que os fogões solares do tipo caixa, são dispositivos projetados para converter energia solar em calor, destacam-se como opções viáveis para diminuir a utilização de métodos tradicionais de cocção, como esses citados anteriormente. Sendo a acessibilidade dos fogões solares um aspecto importante a ser considerado. Os de tipo caixa são mais acessíveis em comparação a outros modelos como, por exemplo, os parabólicos, por ter um menor custo elevado e possibilitando uma maior aceitação social. A versatilidade desses fogões permite que sejam feitos de uma variedade de materiais recicláveis, como papelão, madeira, plástico e metal, contribuindo para seu baixo custo de produção, conforme (Filho, 2011; Filho *et al.*, 2021).

Sendo assim, este trabalho tem como principal objetivo realizar testes em fogões solares do tipo caixa, na cidade de Esperança-PB, que se diferenciam em aspectos como materiais e estruturas em volta da panela. O foco da pesquisa é analisar e compreender as variações de temperatura no interior da panela ao longo do processo de aquecimento de água. Além disso, buscou-se identificar possíveis formas de melhoramento da eficiência do dispositivo. Dessa forma, espera-se contribuir para a promoção da segurança energética e a redução do uso das fontes comerciais, por meio dos fogões solares.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, dois fogões solares do tipo caixa foram idealizados e construídos como parte das atividades práticas da disciplina de Energia Solar Térmica, no Curso Técnico em Sistemas de Energias Renováveis do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Campus Esperança. A elaboração deles envolveu o uso de materiais acessíveis e de baixo custo.

Na fase de dimensionamento, o projeto dos fogões solares foi concebido com o propósito de comportar uma panela, visando a simulação de condições reais de uso. A Fig. 1 apresenta o modelo tridimensional do projeto elaborado via Autodesk Fusion 360, proporcionando uma visualização geral do sistema proposto.

A estrutura principal, construída em madeira, foi dimensionada para garantir que uma panela comum pudesse ser inserida e o fogão transportado com facilidade. Assim, o fogão teve medidas de 27cm de altura, 40cm de comprimento e 35cm de largura nas partes externas. Enquanto o vidro da tampa apresentou 33cm de comprimento e 37cm de largura.

Sensores de temperatura foram empregados para monitorar as temperaturas da água na panela e do ambiente interno do fogão.

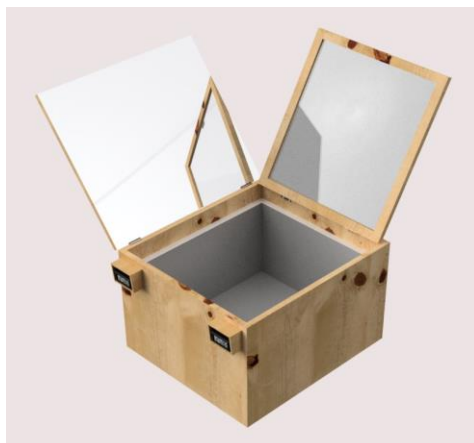


Figura 1. **Fogão em perspectiva no Autodesk Fusion 360.**

Após a finalização do desenho, procedeu-se com a montagem dos fogões, seguindo o modelo desenvolvido. A Fig. 2 apresenta o fogão construído.

No que difere o desenvolvimento do projeto dos dois fogões solares, foram selecionados materiais específicos de tal forma que pudesse se verificar o efeito deles sobre os resultados. Foram construídos dois fogões solares utilizando 2 revestimentos distintos: o fogão 1, feito com fita aluminizada na tampa e na parte interna, que se destaca pela sua ótima reflexão dos raios solares; e o fogão 2, construído com papel alumínio na tampa e na parte interna, escolhido por sua melhor capacidade de absorção de calor. Na parte interna, o papelão e o isopor foram utilizados, com dimensões de 20cm de altura, 33cm de comprimento e 29cm de largura. Uma chapa de zinco pintada de preto foi colocada como sendo a base interna do fogão, sobre a qual a panela é colocada em cima.



Figura 2. **Fogão construído e revestido.**

Nos testes foram utilizadas duas panelas com 1 L de água cada. Uma panela foi empregada no fogão 1 (Fogão com Fita Aluminizada), outra foi disposta no fogão 2 (Fogão com Papel Alumínio). As panelas possuem as seguintes características: ambas são idênticas com parâmetros de 56 cm de circunferência e 7 cm da medida vertical (abaixo da alça da panela) e possuem a coloração preta, o que confere a estas uma maior capacidade de absorção e contenção de calor. A Fig. 3 apresenta as panelas empregadas nos testes.



Figura 3. Panelas usadas nos testes.

Para a avaliação do desempenho, coletaram-se os seguintes dados: temperatura da água disposta na panela, temperatura interna do fogão e a temperatura ambiente, ambos com intervalos de 10 minutos, com duração de 10h às 14h, ajustando o fogão, de forma que, atingisse melhor aproveitamento da radiação solar, conforme estabelecido na norma ASAE S580.1. Durante esse período, foram registradas as medidas de temperatura, visando a criação de curvas de temperatura e a determinação da temperatura média do fogão ao longo do processo. A temperatura ambiente, temperatura interna do fogão e temperatura da água foram obtidas a partir de sensores de temperatura instalados nos fogões.

Com o intuito de se verificar mais condições de testes, implementaram-se estruturas ao redor da panela para que mais calor fosse concentrado ao redor da panela, conforme demonstrado por Goyal e Eswaramoorthy (2023). Essas estruturas, construídas em zinco e revestidas com tinta preta para maximizar a absorção de calor, apresentam dimensões que se alternam entre 2,5 cm e 3 cm. Realizou-se um estudo comparativo, empregando os fogões com tal estrutura e posteriormente sem a estrutura ao redor da panela. A Fig. 4 apresenta a panela com a estrutura em seu entorno.



Figura 4. Estrutura para ser usada ao redor da panelada.

Assim, os experimentos foram realizados em 4 dias, e realizados a verificação da temperatura da água com as seguintes condições de testes:

1. **TA-FCF-CE:** Temperatura da água no Fogão com Fita Aluminizada e panela com Estrutura ao redor;
2. **TA-FCP-CE:** Temperatura da água no Fogão com Papel Alumínio e panela com Estrutura ao redor;
3. **TA-FCF-SE:** Temperatura da água no Fogão com Fita Aluminizada e panela sem Estrutura ao redor;
4. **TA-FCP-SE:** Temperatura da água no Fogão com Papel Alumínio e panela sem Estrutura ao redor;

A Fig. 5 apresenta os fogões em teste. É importante salientar que a superfície refletora fica voltada ao Norte, e o fogão é rotacionado manualmente a cada 30 minutos de teste, de forma a se evitar duplo sombreamento interno nos fogões, devido às paredes do fogão.

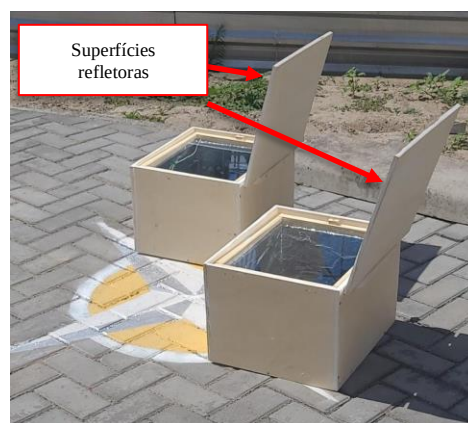


Figura 5. Fogões no sol.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos testes, os dados de temperatura da água na panela foram plotados e são apresentados nas Figs. 6 e 7, referentes aos dois dias de experimentos.

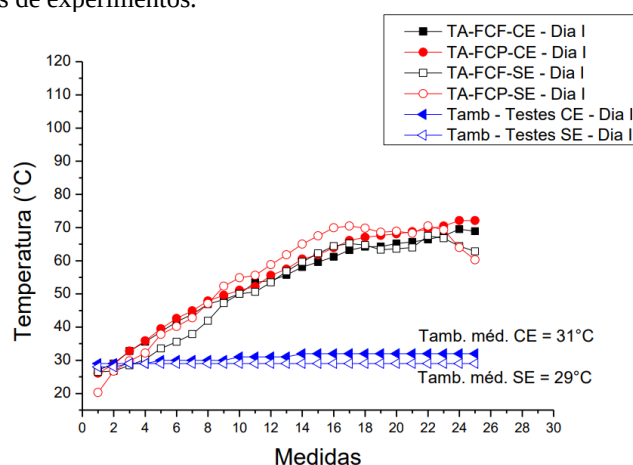


Figura 6. Análise comparativa do dia 1.

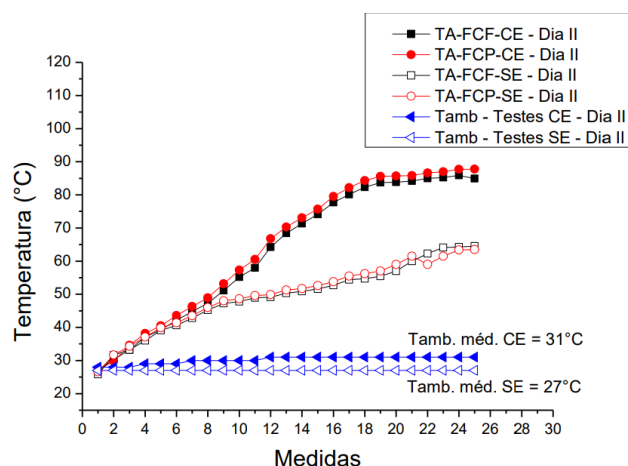


Figura 7. Análise comparativa do dia 2.

Ao se analisar as curvas de temperaturas, verifica-se que em todas as situações testadas, o fogão que foi revestido com papel alumínio atingiu temperaturas mais elevadas em comparação com o fogão que teve revestimento feito com papel alumínio. Em relação a influência da estrutura ao redor da panela, não possível observar mudanças significativas, conforme foi constatado por Goyal e Eswaramoorthy (2023). Como pode-se verificar, as temperaturas ambientes médias nos dias de experimentos sem a estrutura ao redor da panela, foram ligeiramente menores do que as temperaturas ambientes nos dias de testes com estrutura ao redor da panela.

As tabelas a seguir apresentam os dados dos dias de experimentos em que os valores médios de temperatura mais próximos, ou seja, os dias de experimentos 1 (descrito na Fig. 6) de cada condição de teste.

Tabela 1. Resultados dos dias de testes 1 nas condições FCF-CE e FCP-CE.

HORA	Temp. do Fogão		Temp.da água		Temp.Ambiente	Condição do tempo
	FCF-CE	FCP-CE	FCF-CE	FCP-CE	FCF-CE e FCP-CE	FCF-CE e FCP-CE
10:00	32,8	39,0	27,0	26,1	29,0	Ensolarado
10:10	40,3	41,7	29,0	28,8	29,0	Ensolarado
10:20	48,8	60,6	32,8	32,8	29,0	Ensolarado
10:30	57,6	59,9	35,6	35,9	29,0	Ensolarado
10:40	57,5	59,1	38,6	39,5	30,0	Pouca insolação
10:50	56,6	57,6	41,6	42,6	30,0	Pouca insolação
11:00	56,3	59,2	43,9	44,9	30,0	Ensolarado
11:10	59,3	63,9	46,9	47,9	30,0	Pouca insolação
11:20	51,2	53,8	48,3	49,6	30,0	Pouca insolação
11:30	61,5	63,9	50,0	51,1	31,0	Ensolarado
11:40	61,8	58,1	53,5	52,2	31,0	Pouca insolação
11:50	62,3	65,8	54,0	55,6	31,0	Ensolarado
12:00	66,0	70,3	55,7	57,5	31,0	Ensolarado
12:10	65,9	71,2	58,1	60,5	32,0	Ensolarado
12:20	72,5	73,8	59,6	61,8	32,0	Ensolarado
12:30	73,1	73,6	61,2	63,9	32,0	Ensolarado
12:40	75,7	78,1	63,2	66,1	32,0	Ensolarado
12:50	75,8	70,7	64,2	67,1	32,0	Ensolarado
13:00	59,7	66,4	64,3	67,6	32,0	Pouca insolação
13:10	80,1	70,6	65,2	68,1	32,0	Ensolarado
13:20	74,6	65,5	65,7	68,8	32,0	Ensolarado
13:30	64,0	58,2	66,4	69,5	32,0	Pouca insolação
13:40	78,3	63,3	67,5	70,5	32,0	Ensolarado
13:50	78,6	68,2	69,5	72,1	32,0	Ensolarado
14:00	61,9	58,8	68,9	72,1	32,0	Pouca insolação
Média	62,8	62,7	53,2	54,9	30,9	

Tabela 2. Resultados dos dias de testes 1 nas condições FCF-SE e FCP-SE.

HORA	Temp. do Fogão		Temp.da água		Temp.Ambiente	Condição do tempo
	FCF-SE	FCP-SE	FCF-SE	FCP-SE	FCF-SE e FCP-SE	FCF-SE e FCP-SE
10:00	25,9	26,0	26,5	20,3	28,0	Nublado
10:10	27,1	28,0	26,8	26,7	28,0	Nublado
10:20	39,3	39,3	28,5	29,8	29,0	Nublado
10:30	38,8	39,6	30,3	32,2	29,0	Nublado
10:40	50,1	51,3	33,6	37,8	29,0	Nublado
10:50	44,5	47,4	35,6	40,2	29,0	Parcialmente nublado
11:00	47,1	48,1	37,9	42,8	29,0	Ensolarado
11:10	62,8	56,6	41,9	47,1	29,0	Ensolarado
11:20	67,1	63,3	47,2	52,3	29,0	Ensolarado
11:30	54,1	56,3	50,0	54,9	29,0	Pouca insolação
11:40	52,8	52,6	50,6	55,6	29,0	Ensolarado
11:50	70,5	68,9	53,5	58,8	29,0	Ensolarado
12:00	66,5	68,1	56,8	61,8	29,0	Ensolarado
12:10	71,4	74,6	59,7	65,0	29,0	Ensolarado
12:20	69,8	72,2	62,2	67,5	29,0	Pouca insolação
12:30	74,4	79,2	64,4	69,9	29,0	Ensolarado

12:40	68,1	69,6	65,2	70,5	29,0	Pouca insolação
12:50	60,8	60,0	64,7	69,8	29,0	Pouca insolação
13:00	55,5	53,3	63,3	68,6	29,0	Sem insolação
13:10	63,9	58,1	63,6	68,9	29,0	Pouca insolação
13:20	66,5	53,4	64,0	68,3	29,0	Ensolarado
13:30	66,4	60,2	67,5	70,5	29,0	Pouca insolação
13:40	58,0	56,2	66,8	69,3	29,0	Sem insolação
13:50	50,0	50,3	64,4	64,0	29,0	Nublado
14:00	47,9	47,7	62,8	60,3	29,0	Nublado
Média	55,9	55,2	51,5	54,9	28,92	

Da Tab. 1, verifica-se que a temperatura do Fogão FCF-CE alcançou valor máximo de 80,1°C, enquanto a do Fogão FCP-CE atingiu 78,1°C. Entretanto, o valor médio da temperatura ao longo dos testes foi praticamente o mesmo para cada condição, sendo 62,88°C para o Fogão FCF-CE e 62,72°C para o Fogão FCP-CE. A temperatura da água contida na panela teve variação ao longo dos testes, o que é natural considerando a oscilação das condições climáticas que ocorreram entre as 10h e 14h. Mas, especificamente em relação a esse parâmetro, foi possível observar diferença da ordem de mais de 1,5°C entre os fogões, pois o valor médio para o Fogão FCF-CE foi de 53,2°C e para o Fogão FCP-CE foi de 54,90°C. Isso pode estar atrelado ao fato do revestimento interno de papel alumínio que tem uma maior capacidade de absorver calor do que a fita aluminizada e, assim, consegue transferir mais calor para a água contida na panela.

Ao analisar-se a Tab. 2, verifica-se que a temperatura do Fogão FCF-SE alcançou valor máximo de 74,4°C, enquanto a do Fogão FCP-SE atingiu 79,2°C. Entretanto, o valor médio da temperatura ao longo dos testes foi praticamente o mesmo para cada condição, sendo 55,97°C para o Fogão FCF-CSE e 55,22°C para o Fogão FCP-SE. A temperatura da água contida na panela teve, mais uma vez, variação ao longo dos testes, o que, conforme já dito anteriormente, é natural considerando a oscilação das condições climáticas que ocorreram entre as 10h e 14h. Entretanto, especificamente em relação a esse parâmetro, foi possível observar diferença da ordem de mais de 3,4°C entre os fogões, pois o valor médio para o Fogão FCF-SE foi de 51,5°C e para o Fogão FCP-SE foi de 54,9°C. Conforme verificado na Tab.1, isso pode estar atrelado ao fato do revestimento interno de papel alumínio que tem uma maior capacidade de absorver calor do que a fita aluminizada e, assim, consegue transferir mais calor para a água contida na panela.

Um aspecto que merece atenção é o fato de que, mesmo que os valores médios das temperaturas ambientes durante a realização dos testes terem sido de 30,96°C para o dia de teste 1 do Fogão FCP-CE e de 28,9°C para o Fogão FCP-SE, isso não teve impacto suficiente na variação média de temperatura da água no interior da panela, pois para o Fogão FCP-CE foi de 54,9°C e para o Fogão FCP-SE foi de 54,2°C. Assim, verifica-se que não se pode concluir se a estrutura ao redor da panela tem influência, pois o número de experimentos foi pouco e outros testes deveriam ser realizados.

As tabelas a seguir apresentam os dados dos dias de experimentos em que os valores médios de temperatura mais próximos, ou seja, os dias de experimentos 1 (descrito na Fig. 6) de cada condição de teste.

Tabela 3. Resultados dos dias de testes 2 nas condições FCF-CE e FCP-CE.

HORA	Temp. do Fogão		Temp.da água		Temp.Ambiente	Condição do tempo
	FCF-CE	FCP-CE	FCF-CE	FCP-CE	FCF-CE e FCP-CE	FCF-CE e FCP-CE
10:00	29,9	33,0	27,1	27,1	28,0	Pouca insolação
10:10	44,3	44,3	30,3	29,8	28,0	Pouca insolação
10:20	55,0	56,6	33,2	34,6	28,0	Ensolarado
10:30	48,6	48,3	37,1	38,2	29,0	Pouca insolação
10:40	49,6	50,8	39,3	40,5	29,0	Ensolarado
10:50	53,7	53,1	42,1	43,6	29,0	Ensolarado
11:00	58,6	58,2	44,8	46,3	30,0	Ensolarado
11:10	59,3	60,2	47,3	48,9	30,0	Ensolarado
11:20	66,8	70,6	51,1	53,2	30,0	Ensolarado
11:30	64,6	69,7	55,2	57,3	30,0	Ensolarado
11:40	72,3	63,2	58,0	60,5	30,0	Ensolarado
11:50	75,5	64,7	64,2	66,8	31,0	Ensolarado
12:00	80,0	66,4	68,4	70,3	31,0	Ensolarado
12:10	82,1	70,2	71,3	73,1	31,0	Ensolarado
12:20	82,5	69,0	74,1	75,7	31,0	Ensolarado
12:30	88,7	71,9	77,7	79,5	31,0	Ensolarado
12:40	89,3	73,5	80,1	82,2	31,0	Ensolarado
12:50	90,6	73,8	82,3	84,3	31,0	Ensolarado

13:00	84,5	72,1	83,7	85,6	31,0	Ensolarado
13:10	78,0	66,7	83,8	85,7	31,0	Ensolarado
13:20	76,8	67,5	84,2	85,8	31,0	Ensolarado
13:30	87,0	70,3	85,0	86,6	31,0	Ensolarado
13:40	86,8	71,0	85,2	87,0	31,0	Ensolarado
13:50	89,9	72,0	85,9	87,7	31,0	Ensolarado
14:00	78,3	72,7	84,9	87,8	31,0	Ensolarado
Média	70,9	63,3	63,0	64,7	30,2	

Tabela 4. Resultados dos dias de testes 1 nas condições FCF-SE e FCP-SE.

	Temp. do Fogão		Temp.da água		Temp.Ambiente	Condição do tempo
HORA	FCF-SE	FCP-SE	FCF-SE	FCP-SE	FCF-SE e FCP-SE	FCF-SE e FCP-SE
10:00	27,6	28,8	25,8	26,6	27,0	Pouca insolação
10:10	44,2	43,4	31,6	31,7	27,0	Pouca insolação
10:20	42,1	42,8	33,2	34,3	27,0	Pouca insolação
10:30	44,8	45,7	36,0	37,1	27,0	Pouca insolação
10:40	45,6	44,1	39,1	39,9	27,0	Pouca insolação
10:50	45,7	43,8	40,6	41,4	27,0	Pouca insolação
11:00	48,6	46,0	42,8	43,5	27,0	Pouca insolação
11:10	53,8	50,0	45,2	46,0	27,0	Pouca insolação
11:20	48,7	46,1	47,2	48,0	27,0	Pouca insolação
11:30	48,6	45,9	47,8	48,6	27,0	Pouca insolação
11:40	48,6	46,1	48,9	49,6	27,0	Ensolarado
11:50	47,6	45,8	49,1	49,9	27,0	Sem insolação
12:00	50,3	47,9	50,3	51,3	27,0	Pouca insolação
12:10	49,5	46,5	50,9	51,7	27,0	Nublado
12:20	51,5	48,3	51,6	52,6	27,0	Pouca insolação
12:30	50,9	48,2	52,7	53,8	27,0	Pouca insolação
12:40	50,0	55,4	54,4	55,5	27,0	Pouca insolação
12:50	54,7	51,1	54,7	56,2	27,0	Pouca insolação
13:00	55,3	49,2	55,4	57,0	27,0	Pouca insolação
13:10	61,8	52,2	57,0	59,0	27,0	Ensolarado
13:20	69,9	55,0	60,0	61,5	27,0	Ensolarado
13:30	69,8	55,5	62,3	59,0	27,0	Ensolarado
13:40	67,7	54,2	64,1	61,5	27,0	Pouca insolação
13:50	52,1	58,4	64,3	63,4	27,0	Pouca insolação
14:00	57,9	50,3	64,5	63,5	27,0	Pouca insolação
Média	51,4	48,0	49,1	49,7	27,0	

Da Tab. 3, verifica-se que a temperatura do Fogão FCF-CE alcançou valor máximo de 90,6°C, enquanto a do Fogão FCP-CE atingiu 73,8°C. Entretanto, o valor médio da temperatura ao longo dos testes foi praticamente o mesmo para cada condição, sendo 63,3°C para o Fogão FCF-CE e 73,8°C para o Fogão FCP-CE. Em relação a temperatura da água na panela, foi possível observar diferença da ordem de mais de 1,7°C entre os fogões, pois o valor médio para o Fogão FCF-CE foi de 63,0°C e para o Fogão FCP-CE foi de 64,7°C. Isso, conforme já descrito anteriormente, pode estar atrelado ao fato do revestimento interno de papel alumínio que tem uma maior capacidade de absorver calor do que a fita aluminizada e, assim, consegue transferir mais calor para a água contida na panela.

Ao analisar-se a Tab. 4, verifica-se que a temperatura do Fogão FCF-SE alcançou valor máximo de 69,9°C, enquanto a do Fogão FCP-SE atingiu 58,4°C. Entretanto, o valor médio da temperatura ao longo dos testes foi praticamente o mesmo para cada condição, sendo 49,18°C para o Fogão FCF-SE e 49,70°C para o Fogão FCP-SE. Em relação a variação da temperatura da água na panela, não foi possível observar uma diferença significativa entre os fogões, pois o valor médio para o Fogão FCF-SE foi de 49,18°C e para o Fogão FCP-SE foi de 49,7°C. Logo, devido a menor temperatura ambiente nas condições de teste estabelecidas na Tab. 4, pouco se pode concluir em relação a constituição dos sistemas.

Como se pode observar, os fogões solares desenvolvidos funcionaram de forma satisfatória. Embora a estrutura ao redor da panela não tenha tido influência significativa nos valores médios de temperatura, mas testes são necessários, pois como se pode verificar na Fig. 6, as temperaturas se mantiveram mais estáveis ao final do experimento. Assim, mais testes

são necessários para que se possa demonstrar esse efeito da estrutura ao redor da panela na manutenção do patamar de temperatura.

No entanto, os fogões foram capazes de fazer com que a água da panela atingisse picos superiores a 80°C em teste sob insolação constante (ver Tab.4). Assim, a constituição dos fogões foi capaz de fazer com que a temperatura da água atingisse valores maiores do que os fogões desenvolvidos em trabalhos desenvolvidos por Neto et al. (2019), que foi de 72,5°C, e Coriolano et al. (2018), que foi de 78°C. Em ambos os trabalhos citados, os autores conseguiram realizar a cocção de alimentos.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo reforçam a eficácia do fogão solar tipo caixa, particularmente quando tem revestimento de papel alumínio, que demonstrou alcançar temperaturas superiores, indicando uma melhor eficiência maior capacidade de retenção de calor. Notou-se também que variações modestas na temperatura ambiente tiveram um impacto significativo nas temperaturas máximas obtidas, ressaltando a sensibilidade do sistema às condições externas.

Em relação a estrutura ao redor da panela, não se pode verificar sua influência nos valores médios de temperaturas ao longo dos testes, entretanto mais testes precisam ser realizados para a verificação do seu efeito de influência na estabilidade do patamar de máxima temperatura atingida pelos fogões.

Os fogões desenvolvidos alcançaram temperatura suficientes para a cocção de alimentos ou pré-aquecimento de água que se deseja empregar na cocção de alimentos por outras fontes de energia.

5. REFERÊNCIAS

- Andrade Filho, A.E., e Souza, L.G.M., 2021. "Fogão solar para cocção de alimentos". Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), *Departamento de Engenharia Mecânica*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Natal, 14 de setembro de 2021. pp.1-15.
- Coriolano, D. L., Silva, E. D. L., Andrade, V. C. V., Resende, I. T. F., Araújo, M. E. A., Figueiredo, R. T., Alsina, O. L. S., 2018. Projeto, Desenvolvimento e Teste de Fogões Solares. *Congresso Brasileiro de Energia Solar. Anais do VII CBENS* – Gramado.
- Gioda, A., Tonietto, G.B. e Leon, A.P. 2019. "Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população". *Ciência & Saúde Coletiva*, Vol. 24, No. 8, pp. 3079-3088.
- Gomes, M.M.M., Cavalcante, R.D.L.S., Rebouças, H.V. do N., Ferreira, G.S., Santos, M.E.T., Marques, A.S., Lago, T.G.S., 2024. "Fogões solares: uma alternativa sustentável para universidades, escolas e comunidades no contexto do ensino, pesquisa e extensão". *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, Vol.19, No. 1, pp. 118-129.
- Goyal, R. K. e Eswaramoorthy, M. 2023. "Thermal performance enhancement on a box-type solar cooker using a triangular fin over a conventional cooking pot". *Solar Energy*, No. 258, pp. 339–350.
- Lobato, P.B., Reis, F.C., Costa, W.T.N.F., Alves, V.P.O., Barbosa, C.F.O., Galhardo, M.A.B. e Pereira, E.J.S., 2022. "Desenvolvimento de um kit didático de fogão solar com concentrador para divulgação do uso da energia solar". *Anais do XI Congresso Brasileiro de Energia Solar*, Florianópolis, Brasil, 23 a 27 de maio de 2022. UFPA, Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará.
- Lopes, D.F.C., Santos, V.E.B., Dantas, V.J.J., Cavalcante, S.S., Doria, M.B., Leão, A.C.A., Sant'Anna, M.C.S. "Utilização de fogão solar tipo caixa para beneficiamento do caranguejo uçá". *Anais do VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 18 a 21 de agosto de 2010, Campina Grande, Paraíba, Brasil.
- Macedo Neto, M.C., Gomes, Í.R.B., Gondim, P.C.A. e Souza, L.G.M., 2011. "Desenvolvimento de um fogão solar com parábola fabricada em material compósito a base de isopor e gesso". *HOLOS*, Ano 27, Vol. 5, pp.117-135.
- Neto, C.A.F. e Guerra, F.K.O.M.V., 2020. "Fogão solar tipo painel com materiais de baixo custo: Uma alternativa para cocção de alimentos". *Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica*. UFERSA, Rio Grande do Norte, Brasil, Vol. 2, pp. 22-30.
- Neto, L. J., Sombra Jr, F. J., Varella Guerra, F. K. O. M. (3), Carvalho, A. E. O., Silva, E. P. F. 2019. "Análise comparativa entre um fogão solar do tipo parabólico e fogão solar do tipo caixa". *Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica - R4EM*, Vol..1, No..1, pp. 205-212.
- Santos, C.V. e Ferraretto, T.R.G., 2016. "Fogão solar: ferramenta viável para cozimento de alimentos a partir de materiais de baixo custo". *Revista Eletrônica de Extensão*, Extensio – UFSC, Vol. 13, No. 21, pp. .97-104.
- Sousa, L. G. M; Varela, P. H. A; Silva, T. S; Mota, M. K. F; Souza, L. G. V. M. "Forno solar tipo caixa fabricado a partir de pneus usados". *V Congresso Brasileiro de Energia Solar* - Recife, 31 a 03 de abril, 2014.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

SOLAR COOKERS

Jessika Alves Vieira Gomes, jessika.alves@academico.ifpb.edu.br¹

Letícia dos Santos Sales, sales.leticia@academico.ifpb.edu.br¹

Ryan Porto Santos, ryan.porto@academico.ifpb.edu.br¹

Wesley Emanuel Querino de Brito, wesley.emmanuel@academico.ifpb.edu.br¹

Bruno Allison Araújo, araujo@ifpb.edu.br²

Emerson Jerônimo, emerson@ifpb.edu.br³

¹Alunos do Curso Técnico em Sistema de Energia Renovável no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - campus Esperança

²Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Esperança

³Técnico de laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Esperança

Abstract. *This study presents the design, development, and testing of box-type solar cookers as a sustainable alternative for food cooking, focusing on the city of Esperança, Paraíba, Brazil, and conducted at the Federal Institute of Paraíba (IFPB). Initially, it addresses the importance of renewable energy sources, especially solar energy, in light of global environmental and energy challenges. Considering the predominant use of firewood for cooking in Brazil and its impacts, the need to promote solar cookers is highlighted. The study analyzes two box-type solar cookers, differentiated by materials and structures around the pot, aiming to understand temperature variations during water heating. The cookers were built with accessible materials and subjected to practical tests, accompanied by monitoring of ambient temperature, cooker temperatures, and water in the pot. During monitoring conducted from 10 am to 2 pm, at 10-minute intervals, the temperatures reached were recorded. It was observed that the aluminum foil coating resulted in higher temperatures compared to aluminized tape in all tested situations. The influence of the structure around the pot was not significant in the average temperature values over the tests, but more experiments are needed to confirm its effect on maximum temperature stability. The results showed that, despite modest variations in ambient temperature, the cookers were able to reach sufficient temperatures for food cooking. The aluminum foil coating demonstrated better heat retention efficiency, resulting in higher temperatures in the pot water compared to aluminized tape. Thus, it is concluded that box-type solar cookers, especially with aluminum foil coating, are effective for food cooking and water heating. The structure around the pot requires further investigation to determine its impact on the stability of the maximum temperature levels reached by the box-type solar cookers.*

Keywords: *Cooking, Box-type solar cookers, Sustainability.*