UNIVERSIDADE FEDERAL
UFERSA
RURAL DO SEMI-ÁRIDO

REVISTA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ENGENHARIA MECÂNICA

R4 11ª EM

EDIÇÃO
V.7.N.1.2025

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA E MECÂNICA
ISSN 2763-5325

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica
ISSN 2763-5325 | DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325

CARTA DO EDITOR

Estimados leitores, é com muita felicidade que apresento mais uma edição da Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica - R4EM, das áreas de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA. A crescente demanda por profissionais bem capacitados, exige que seu conhecimento seja cada vez mais atual, tanto em termos da técnica quanto em termos da ciência, tendo que, ciência e tecnologia, andem juntas para evoluírem e atingirem o patamar de excelência que todos precisam. O Brasil necessita urgentemente evoluir e atingir o nível de inovação tecnológica que um dia já teve conforme será apresentado a seguir.

No final da década de 1950, o Brasil começou a importar e estudar computadores, adquirindo o Univac 120 em 1957 pela prefeitura de São Paulo. A partir da década de 1970, surgiram empresas como a COBRA (Computadores e Sistemas Brasileiros Ltda), pioneira na produção nacional de computadores com sistema operacional, como o SOX, compatível com UNIX, e tendo desenvolvido o primeiro Internet Banking da América Latina. A Itautec, fundada em 1979, focada em informatização bancária e eletrônicos, tendo lançado em 1982 seu primeiro microcomputador, o Itautec I-7000, e posteriormente, seu primeiro caixa eletrônico, em Campinas, São Paulo. A Comércio de Componentes Eletrônicos (CCE) fundada em 1964, inicialmente como importadora e comerciante de aparelhos eletrônicos, e posteriormente como fabricante de produtos eletrônicos e computadores, como O MC1000 primeiro computador doméstico de fabricação nacional, e o MC4000 voltado para aplicações pessoais compatível com o Apple II Plus. Outra importante empresa foi a Corisco, empresa nordestina e brasileira que produziu o primeiro computador do Nordeste, iniciada de um projeto desenvolvido em parceria entre a UFPE e a Elógica a partir de 1982. A Corisco parou de fabricar microcomputadores em 1988 e especializou-se em automação comercial, placas e softwares para conectividade.

Isso foi possível na época, devido à implementação da Reserva de Mercado da Informática de 1984 a 1992, que, embora controversa, impulsionou a produção nacional de microcomputadores e a indústria eletrônica. Seu fim chegou com a abertura do mercado brasileiro para concorrentes estrangeiros, sem antes preparar as empresas nacionais, que não conseguiram acompanhar a transformação do mercado nacional de informática e descontinuaram seus negócios em meados dos anos noventa. Muitas destas empresas não resistiram à chamada "década perdida" da economia brasileira, marcada por hiperinflação, crise da dívida externa, estagnação econômica e medidas governamentais de controle de preços e liquidez que desorganizaram o mercado. Também foram vitimas indiretamente do Governo Collor e o "Plano Collor", com medidas de confisco da poupança e outros ativos, desaceleração da atividade econômica, perda de liquidez e desconfiança no governo. Lembrando que diversos países, incluindo países como os EUA, também protegem empresas nacionais para garantir domínio tecnológico, coisa que o Brasil não foi capaz de fazer.

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica
ISSN 2763-5325 | DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325

Outra área em que o Brasil também foi pioneiro, foi no desenvolvimento e lançamento de veículos espaciais e satélites na Base de Alcântara/MA, formalmente conhecida como Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), tendo sido uma infraestrutura militar brasileira localizada no Maranhão, dedicada a esta finalidade. A história da base também é marcada por desafios, incluindo a tragédia de 2003, quando uma explosão em um lançamento resultou na morte de 21 engenheiros e técnicos. Até o ano de 2003, Brasil, Rússia, Estados Unidos, China, França, Índia, Japão, Coreia do Norte, Israel e Iran eram os únicos que possuíam tecnologia própria com a capacidade de lançar foguetes e satélites ao espaço. Após esse desastre, o Brasil perdeu sua equipe de desenvolvimento não conseguindo mais se recuperar.

Mas o Brasil ainda pode voltar a ocupar seu cargo. Este ano (2025), a Unesco celebra o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas, iniciado há 100 anos, com uma grande revolução científica na área da Física. Em 1925, Werner Heisenberg, Max Born e Pacual Jordan apresentaram ao mundo o início da mecânica quântica, observada desde o começo dos anos 1900, com a hipótese quântica (1900) de Plank, o efeito fotoelétrico (1905) de Einstein, o modelo atômico (1913) de Bohr e a dualidade onda-partícula (1924) de de Broglie, culminando na formulação da mecânica quântica (1925) e no princípio da incerteza (1927) de Heisenberg, na equação ondulatória da mecânica quântica (1926) de Schrödinger, no paradoxo EPR (1935) de Einstein, Podolsky e Rosen. Essas teorias deram início a todo o desenvolvimento tecnológico atual, como o estudo dos semicondutores, o desenvolvimento dos transistores e dos microprocessadores, do avanço aeroespacial, da computação quântica, das diversas técnicas médicas atuais, entre tantos outros avanços, e possibilitando chegarmos no desenvolvimento das modernas IAs.

Por este motivo, é imprescindível que o Brasil forme mais cientistas, engenheiros, professores, e reforcem o conhecimento da física moderna, da física quântica, da inovação tecnológica, da computação quântica, da Inteligência Artificial, e tantas outras tecnologias e descobertas científicas que ainda virão, não podendo ser admitida a ausência do conhecimento da Física Moderna na formação do Engenheiro Moderno, caso contrário, o Engenheiro será um Engenheiro do século passado, sem o conhecimento do futuro e sem a capacidade de evoluir rumo ao próximo século. Visitem nosso site no link https://periodicos.ufersa.edu.br/r4em, publiquem em nossa revista, colaborem divulgando este trabalho desenvolvido pelos alunos do PET Mecânica & Energia com tanto empenho e dedicação. Por isso, agradecemos a estes alunos, em especial os que compõem a equipe editorial, nossos avaliadores, autores e leitores.

Atenciosamente,

Mossoró, 26 de Julho de 2025.

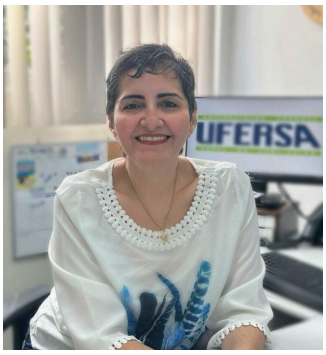
Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior

Editor Chefe da R4EM

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica
ISSN 2763-5325 | DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325

ARTIGO CONVIDADO

ENTENDENDO AS NOVAS DIRETRIZES PARA AVALIAÇÃO DE PERIÓDICOS CIENTÍFICOS



Profa. Dra. LIANA HOLANDA NEPOMUCENO NOBRE
Pró-Reitora Titular de Pesquisa e Pós-Graduação/UFERSA
Docente da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA
Doutora em Administração pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná/PUCPR
Graduação em Administração pela Universidade Federal do Ceará/UFC
E-mail: liananobre@ufersa.edu.br

Profa. Dra. ALEXSANDRA FERNANDES PEREIRA
Pró-Reitora Adjunta de Pesquisa e Pós-Graduação/UFERSA
Docente da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA
Doutora em Ciências Veterinárias pela Universidade Estadual do Ceará/UECE
Graduação em Química pela Universidade Estadual do Ceará/UECE
E-mail: alexsandra.pereira@ufersa.edu.br

A avaliação da produção científica desempenha um papel estratégico no fortalecimento da ciência nacional, especialmente no que diz respeito à valorização da pesquisa desempenhada em programas de pós-graduação. Compreender as novas métricas para avaliação de periódicos científicos é essencial para pesquisadores, docentes e gestores institucionais, uma vez que essas mudanças impactam diretamente o reconhecimento da produção intelectual, a formação de redes de colaboração e o desempenho institucional. Nesse contexto, as recentes alterações propostas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) representam um reposicionamento significativo no modelo de avaliação vigente, buscando uma abordagem mais ampla, equitativa e sensível às especificidades das áreas do conhecimento e aos contextos regionais do Brasil.

Até o ciclo avaliativo de 2021–2024, o sistema brasileiro de avaliação de periódicos era baseado no Qualis Periódicos, ferramenta que categorizava os periódicos científicos em estratos (A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4 e C), atribuindo maior prestígio às publicações veiculadas em revistas com classificação mais elevada. Embora esse sistema tenha contribuído para a consolidação de critérios objetivos, ele também apresentou limitações, como a supervalorização de métricas baseadas em fatores de impacto e o enfraquecimento de áreas com menor visibilidade internacional. A principal mudança que se estabelece para o próximo ciclo (2025–2028), com avaliação em 2029, é a transição do foco da revista para o artigo científico individual, promovendo uma avaliação centrada na contribuição real de cada trabalho para a

ciência. Agora, serão considerados os indicadores bibliométricos dos periódicos e dos próprios artigos, permitindo que cada trabalho seja avaliado de forma individualizada.

A nova diretriz propõe que a qualidade do artigo seja avaliada de forma mais direta e contextualizada. Isso significa que um mesmo periódico poderá conter artigos com diferentes classificações, de acordo com critérios, tais como número de citações, grau de inovação, relevância científica, contribuição para a área e disponibilidade em acesso aberto. Segundo as discussões realizadas nos grupos de trabalho da CAPES, a classificação dos artigos poderá adotar três tipos principais de parâmetros: (1) métrica da revista, ainda que aplicada de forma complementar; (2) indicadores do próprio artigo, como impacto em bases de dados e abertura de acesso; e (3) análise qualitativa, envolvendo a avaliação por pares quanto à originalidade, rigor e aplicabilidade dos resultados apresentados.

Esse novo sistema tende a promover uma avaliação mais justa, pois reconhece que o impacto de um trabalho não depende exclusivamente da revista onde foi publicado. Além disso, espera-se reduzir a dependência da lógica quantitativa do Qualis, que, por vezes, estimulava respostas inadequadas, como o direcionamento de publicações apenas para alcançar melhor pontuação institucional. Contudo, essa transição traz consigo importantes desafios: pesquisadores em início de carreira podem encontrar dificuldades para alcançar visibilidade e citações; áreas menos prestigiadas pela comunidade científica correm o risco de serem subvalorizadas; e o risco de distorções causadas por métricas manipuláveis, como a compra de acessos ou o uso indevido de autocitações.

Portanto, embora as novas diretrizes representem um avanço conceitual, ainda são necessárias ações complementares para garantir sua efetividade e equidade. A criação de parâmetros claros, transparentes e adaptados às realidades de cada área é fundamental para evitar subjetividades e conflitos de interesse. O diálogo contínuo com a comunidade científica será essencial para ajustar e validar esse modelo. Em conclusão, a centralidade do artigo científico na avaliação acadêmica representa uma oportunidade de transformar o sistema de avaliação em algo mais meritocrático e conectado com os reais impactos da pesquisa, mas seu sucesso dependerá da implementação criteriosa e do compromisso coletivo com a integridade e o avanço da ciência brasileira.

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica
ISSN 2763-5325 | DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325

EDITORES-CHEFE

Dr. Francisco Edson Nogueira Fraga

Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior

EDITORES-ADJUNTOS

Matheus Henrique Medeiros de França

EDITORAÇÃO

Claubelânya Souza de Araújo

José David de Araújo

Mateus Pereira da Silva

CONSELHO EDITORIAL

Dr. Adelson Menezes Lima (UFERSA/Campus Pau dos Ferros)
MSc: Hélio Henrique Cunha Pinheiro (IFRN/ Campus Mossoró)
Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior (UFERSA/Campus Mossoró)
Dr. Washington Luiz Rodrigues de Queiroz (UFC/Campus Sobral)
Dra.Fabiana Karla de Oliveira M. Varella (UFERSA/Campus Mossoró)
Dr.Ana Fabíola Leite Almeida (UFC/Campus Fortaleza)

DESIGN EDITORIAL

Matheus Henrique Medeiros de França

APOIO

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Av. Francisco Mota, 572. Bairro Costa e Silva, Mossoró-RN.

Sistema de Bibliotecas da UFERSA
https://bibliotecas.ufersa.edu.br/

Editora EDUFERSA
https://edufersa.ufersa.edu.br/

AUTOR CORPORATIVO

PET MECÂNICA E ENERGIA

Programa de Educação Tutorial dos Cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica

Av. Francisco Mota, 572. Bairro Costa e Silva. Mossoró-RN, UFERSA Campus Leste / Centro de Engenharias / Departamento de Engenharia e Tecnologia.
E-mail: r4em@ufersa.edu.br

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica
ISSN 2763-5325 | DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325

SUMÁRIO

Implementação de medidas de eficiência energética em instituição do ensino superior.....*1*

Luiz José de Bessa Neto, Fabiana K. de O. Martins Varella, Igor Pacífico Xavier da Silva

Controle de potência de aerogeradores de indução duplamente alimentados (DFIG) em um sistema de transmissão utilizando particle swarm optimization (PSO) e ladder iterative technique (LIT).....*15*

Adriano Aron Freitas de Moura, Sanderson Aron Moura Gurgel Sinedino de Oliveira, Ednardo Pereira da Rocha e Victor de Paula Brandão Aguiar

Interface gráfica para simulação de perda por reflexão de materiais absorvedores de radiação eletromagnetica.....*25*

Divani Barbosa Gavinier, Lucas Barbosa Nascimento, Glauber Rogério Lanziloti Alves, Braulio Haruo Kondo Lopes, Jorge Tadao Matsushima, Maurício Ribeiro Baldan

Desenvolvimento de tecnologias alternativas: fogão solar portátil.....*37*

Emanuele Jordana Florêncio Clemente , Jaciara Bizerra de Oliveira, Lucas Ely Martins Nascimento , Maria Eduarda Fonseca da Silva , Michael Jackson Enéas da Silva, Thais Morais de Assis[1], Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella

Universidade Federal Rural do Semi-árido
Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica
ISSN 2763-5325 | DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325

Artigo

Implementação de medidas de eficiência energética em instituição do ensino superior

Luiz José de Bessa Neto [1], Fabiana K. de O. Martins Varella [2], Igor Pacífico Xavier da Silva [3]

[1] Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA); luizjbessa@outlook.com
[2] Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA); fkv@ufersa.edu.br
[3] Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA); contato.igorxsilva@gmail.com

Recebido: 29/01/2025;
Aceito: 07/07/2025;
Publicado: 20/07/2025.

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo analisar os impactos relacionados à inserção de medidas de Eficiência Energética (EE) em Instituição Pública de Ensino Superior, realizando um estudo de caso na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Ademais, pretende-se identificar e analisar os benefícios qualitativos e quantitativos que tais medidas têm proporcionado à instituição. Para tal, realizou-se uma abordagem histórica, em ordem cronológica, acerca das iniciativas voltadas à EE que foram implementadas pela UFERSA nos últimos anos. Assim, foram identificadas as ações incorporadas pela Universidade através da instalação de Usinas Solares Fotovoltaicas (UFV's); elaboração do Programa de Eficiência Energética; programa de troca de lâmpadas convencionais pelas lâmpadas em tecnologia de LED; e ações com enfoque na sustentabilidade ambiental. Fundamentado nas estimativas de geração de energia das UFV's existentes na UFERSA, constatou-se que as mesmas, desde a sua entrada em operação até o vigente ano, foram responsáveis pela geração de um valor considerável, fornecendo uma expressiva economia monetária. Em relação à medida de substituição de lâmpadas convencionais do tipo fluorescente por lâmpadas do tipo LED nos prédios da UFERSA, verificou-se tambéme que nos últimos três anos, houve uma redução da carga instalada referente à iluminação da Universidade, proporcionando uma economia monetária relevante.

Palavras-chave: Eficiência energética; Geração distribuída; Usinas solares fotovoltaicas.

Abstract: This study aims to analyze the impacts related to the implementation of Energy Efficiency (EE) measures in a Public Higher Education Institution, conducting a case study at the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Additionally, it seeks to identify and analyze the qualitative and quantitative benefits that such measures have provided to the institution. To this end, a historical approach was taken, in chronological order, regarding the EE initiatives implemented by UFERSA in recent years. Thus, the actions incorporated by the University through the installation of Photovoltaic Solar Plants (UFVs) were identified; the development of the Energy Efficiency Program; the program for replacing conventional lamps with LED technology lamps; and actions focused on environmental sustainability. Based on the energy generation estimates of the UFVs existing at UFERSA, it was found that since their operation began until the current year, they have been responsible for generating a considerable amount, providing significant monetary savings. Regarding the measure of replacing conventional fluorescent lamps with LED lamps in UFERSA buildings, it was also found that in the last three years, there has been a reduction in the installed load related to the University's lighting, providing relevant monetary savings.

Key-words: Energy efficiency; Distributed generation; Photovoltac solar plants.

1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética passou a ser preocupação mundial a partir da primeira crise do petróleo, na década de 1970. Nesse sentido, os países industrializados organizaram-se e investimentos foram direcionados para implementação de políticas públicas de eficiência energética e incentivos as fontes renováveis de energia, cujo objetivo principal era minimizar a dependência em relação ao petróleo e seus derivados, bem como incentivar a sociedade pelo uso consciente e sustentável da energia elétrica [1].

Dessa maneira, diante das constantes crises energéticas no setor do petróleo, bem como da implementação de importantes acordos ambientais, a eficiência energética foi demasiadamente elevada à condição de

instrumento privilegiado no que diz respeito ao atendimento da demanda energética de forma econômica e sustentável [2,3].

Nessa conjuntura, foram desenvolvidos inúmeros mecanismos para promoção da eficiência energética no país, que englobam uma ampla diversidade de setores e beneficiam os diferentes segmentos da sociedade, dentre os quais pode-se mencionar o Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL [3]. Para o cumprimento das obrigatoriedades exigidas pelo PEE, as distribuidoras de energia devem apresentar à ANEEL, por intermédio de arquivos eletrônicos, projetos de Eficiência Energética e Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, observadas as diretrizes estabelecidas para a sua elaboração, descritas no Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética (MPEE), confeccionado pela ANEEL e regulamentado pela Resolução Normativa nº 556/2013 [3,4].

Em [4], afirma-se que no decorrer dos primeiros ciclos do vigente programa, os investimentos em minimização de perdas técnicas nas redes de distribuição, na utilização de lâmpadas LED para iluminação pública e em diagnósticos energéticos de instalações industriais, comerciais e de serviços foram os mais expressivos. Segundo [4] e [5] atualmente mais de 1.500 projetos encontram-se registrados no PEE, os quais poderão proporcionar uma economia de 3.900 GWh/ano e uma demanda retirada de ponta de 1.256 MW.

Por outro lado, além das medidas acima mencionadas, é oportuno destacar, que a REN n° 482/2012 da ANEEL acerca da Geração Distribuída (GD) no Brasil, constituiu-se como um dos marcos regulatórios mais importantes no setor de energias renováveis e de eficiência energética [6]. Além de definir os limites de potência para o enquadramento como GD, a vigente resolução também estabeleceu o sistema de compensação de energia elétrica com base em créditos de energia, conhecido como *net-metering*. Todavia, após a entrada em vigor da REN 482, houve então no ano de 2015 uma atualização desta normativa, a REN 687 [5], com intuito de realizar alguns ajustes que se fizeram necessários. Logo, a vigente resolução oportuniza a conexão de geradores de até 5 MW na rede de distribuição, a partir de fontes renováveis de energia ou cogeração [7].

Por todo o exposto, torna-se imprescindível a participação de entidades públicas, sobretudo as universidades federais e estaduais, no tocante ao processo de implementação de medidas voltadas à eficiência energética e redução de desperdício da energia elétrica no âmbito institucional. Sendo assim, o presente trabalho propõe-se a dar continuidade a pésquisa desenvolvida por [8], utilizando parte das informações previamente obitidas, estendendo as análises dos impactos da inserção de medidas de eficiência energética em uma universidade pública, a partir de um estudo de caso na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) até o ano de 2023.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de identificar e analisar os impactos concernentes à inserção de medidas de eficiência energética em universidade pública, realizou-se um estudo de caso na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). A presente Instituição é constituída por quatro campi em quatro cidades situadas no estado do Rio Grande do Norte, a saber: Mossoró, Angicos, Pau dos Ferros e Caraúbas. Contudo, o campus sede encontra-se no município de Mossoró, localizado no Estado do Rio Grande do Norte, sendo este dividido em dois lados, Oeste e o Leste. Sendo assim, as etapas aqui mostradas seguem de acordo com o fluograma mostrado na Figura 1.

FIGURA 1. Fluxograma metodológico (autoria própia).

2.1. Iniciativas identificadas e implementadas pela UFERSA: eficiência energética e sustentabilidade

2.2.1. Ano de 2012

A primeira iniciativa pertinente à eficiência energética na UFERSA foi consolidada em 2012, mais precisamente em fevereiro daquele ano, onde foi instalado o primeiro sistema de microgeração solar fotovoltaica da UFERSA, pelo qual originou-se a partir de um projeto de extensão oriundo do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação. Com uma potência instalada de 3,43 kWp, o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) está localizado nas coordenadas 05° 12' 18" S e 37º 19' 30" W,

encontrando-se ao lado do Centro Integrado de Inovação Tecnológica do Semiárido (CITED), conforme denota a Figura 2, e seu principal objetivo é fomentar projetos e pesquisas na área da geração solar fotovoltaica.

FIGURA 2. Mini usina solar fotovoltaica Mossoró I de 3,43 kWp (adaptada de [9]).

2.2.2. Anos de 2013 e 2014

Em 2013, a UFERSA iniciou sua segunda ação de eficiência energética com a criação do Plano de Logística Sustentável (PLS). Este plano foi fundamentado em três premissas principais: garantir o destino adequado dos resíduos da universidade; reduzir gastos com energia elétrica e água; e aumentar as áreas sombreadas nos campi. Ainda em 2013, a universidade implementou a política de coleta seletiva solidária, cujo principal objetivo era recolher, separar e disponibilizar resíduos recicláveis para uma associação de catadores, promovendo geração de renda e inclusão social.

Em 2014, a UFERSA ganhou destaque nacional ao conquistar o segundo lugar no Projeto Ideia/Desafio da Sustentabilidade promovido pelo Ministério da Educação (MEC). Como reconhecimento, a universidade recebeu um prêmio de R$ 1.000.000,00 (um milhão de reais) para investir em ações focadas na eficiência energética.

2.2.3. Anos de 2015 e 2016

Em 2015, a UFERSA realizou um workshop para discutir a implantação de usinas solares na universidade, almejando tanto fornecer suporte em pesquisas alusivas à geração solar fotovoltaica, quanto atender parte de sua demanda energética.

Já em 2016, a Universidade efetuou a publicação da portaria UFERSA/GAB Nº 0430/2016 que estabeleceu boas práticas de gestão e uso eficiente da energia elétrica. Dessarte, neste mesmo ano, a UFERSA instituiu o seu Programa de Eficiência Energética, objetivando viabilizar ações de sustentabilidade energética, bem como adotar políticas de uso consciente da eletricidade em toda a comunidade acadêmica. Ainda no ano de 2016, precisamente no mês de novembro, entrou em operação a Usina Solar Mossoró II, localizada nas coordenadas 05° 02' 03" S e 37º 34' 16" W. Desse modo, a usina foi constituída por 580 módulos fotovoltaicos de silício policristalino, dividido em 10 strings de 58 módulos, do fabricante Canadian Solar, modelo CS6P-260P-SD, cuja potência nominal individual de pico é 260 Wp (*vide* Figura 3). Nesse sentido, os arranjos das 10 strings produziam uma potência instalada total de 150,8 kWp. Aliado a isso, também integram ao SFCR 10 inversores trifásicos da empresa Ginlong Technologies Solis, com uma potência nominal de 15 kW cada.

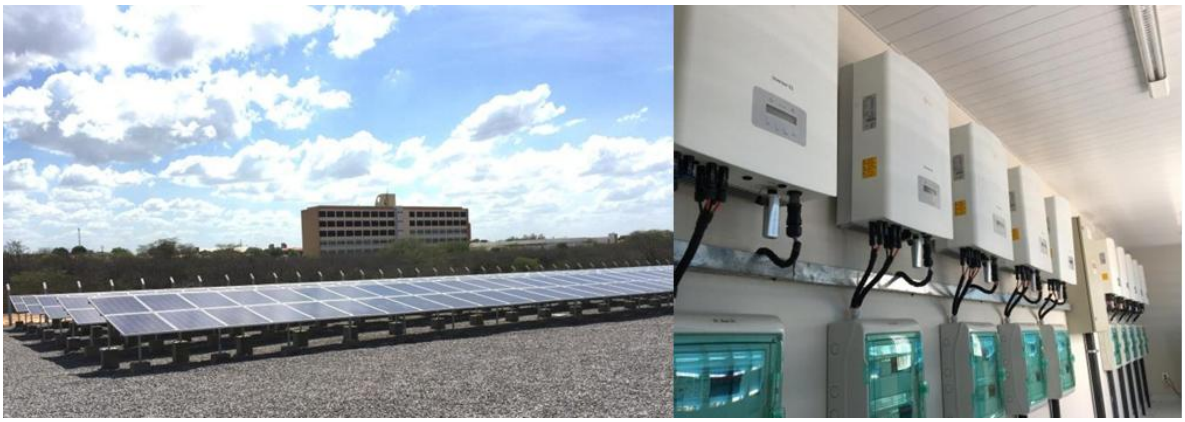


FIGURA 3. Usina Solar Mossoró II de 150,8 kWp e inversores trifásicos da empresa Ginlong Technologies Solis (adaptada de [9]).

De acordo com adaptada de [9,10], a Usina Solar Mossoró II inicialmente era responsável pela geração de aproximadamente 7% da energia elétrica do campus UFERSA/Mossoró, apresentando uma geração média mensal de 18.000 a 20.000 kWh/mês, em uma área apropriada de 933 m². Ademias, é oportuno enfatizar, que o SFCR possui o acompanhamento remoto da geração de energia elétrica através dos inversores, via *wi-fi*.

2.2.4. Anos de 2017 e 2018

Em 2017, o Programa de Eficiência Energética da UFERSA é condecorado com a premiação na 21° Concurso de Inovação da Escola Nacional de Administração Pública. Neste mesmo ano, a instituição realizou o II Workshop Usinas Solares Fotovoltaicas (UFV's): ambientes de inovação. O evento tinha como objetivo incentivar a construção do conhecimento técnico científico acerca da geração solar fotovoltaica, bem como propor alternativas para construção de novos empreendimentos de usinas solares nos campi de Angicos, Caraúbas e Pau dos Ferros.

Já no ano de 2018, a UFERSA ganhou visibilidade nacional ao ser a primeira Universidade brasileira a receber o centésimo Selo Solar conferido pelo Instituto Ideal para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina. A premiação foi conferida à Universidade durante o 9º Seminário de Energia Limpa, que ocorreu entre os dias 04 e 05 de junho daquele ano na cidade de Florianópolis/SC.

Nessa conjuntura, a UEFRSA realizou a instalação de novas UFV's nos quatro campi que constituem a instituição. Dessa forma, em março de 2018 entra em operação a Usina Solar Mossoró III, situada nas coordenadas 05° 12' 19" S e 37º 19' 25" W, em uma área de 93,7 m² no telhado do prédio de Engenharias I. Assim, o SFCR é composto por 48 módulos FV's de silício policristalino do fabricante Canadian Solar, modelo CS6U-325, totalizando uma potência instalada de 15,6 kWp, conforme a Figura 4. Ademais, o SFVCR conta com 2 inversores trifásicos da empresa ABB, com uma potência nominal de 10 kW.

FIGURA 4. Usina Solar Mossoró III de 15,6 kWp (adaptada de [9]).

Ainda em 2018, entraram em operação na UFERSA outras 3 usinas fotovoltaicas nos campi de Angicos, Caraúbas e Pau dos Ferros. A UFV Angicos I foi inaugurada em setembro de 2018, e está localizada nas coordenadas 05° 39' 18" S e 36º 36' 56" W. O SFCR dispõe de 190 módulos FVs de silício policristalino do fabricante Trina Solar, modelo DUOMAX Dual Glass 72-Cell-330W, totalizando uma potência instalada de 62,7 kWp. Aliado a isso, o SFVCR apresenta 3 inversores trifásicos da empresa SMA Sunny Tripower, modelos MIN 25000TL (02 unidades) e 15000TL (01 unidade), somando juntos uma potência de 65 kW.

As usinas solares dos campi de Caraúbas e Pau dos Ferros foram instaladas, respectivamente, em outubro e novembro de 2018, ambas com as mesmas características e potência instalada da UFV de Angicos I, ou seja, 62,7 kWp cada. A Usina Solar Caraúbas I está situada nas coordenadas 05° 46' 23" S e 37º 34' 12" W, enquanto a Usina Solar Pau dos Ferros I localiza-se a 06° 06' 21" S e 36º 36' 56" W.

Finalmente, a UFERSA marca o término do ano de 2018, firmando uma parceria com a empresa Faber-Castell, para promover a reciclagem de instrumentos de escrita, tais como lápis, canetas, borrachas, marcadores de textos, dentre outros utensílios.

2.2.5. Ano de 2019

Por outro lado, em 2019 a UFERSA inaugurou 4 estações meteorológicas automatizadas nas UFV's, sendo uma em cada campus. O objetivo fundamental das mesmas é monitorar as variáveis climatológicas locais, tais como temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade do ar, radiação solar, chuva, pressão atmosférica, entre outras. Dessa maneira, essas estações meteorológicas fornecem um importante banco de dados, que por sua vez, auxiliam em estudos e pesquisas referentes à previsibilidade do recurso solar. Nesse mesmo ano, a Universidade realizou a aquisição de 2.341 lâmpadas tubulares de LED, apresentando potências nominais de 18W e 10 W, bem como um fluxo luminoso de 2.100 lm.

Sendo assim, a UFERSA iniciou a eficientização da iluminação no campus Mossoró. Ainda no ano de 2019, a UFERSA implementou a sua primeira Usina de Compostagem (*vide* Figura 5). Desse modo, os resíduos de podas de árvores, cascas de frutas, vegetais e alimentos não consumidos ou descartados procedentes do restaurante da universidade serão transportados para a presente usina, onde serão transformados em adubo orgânico.

FIGURA 5. Usina de compostagem da UFERSA campus Mossoró (adaptada de [11]).

Precisamente em março de 2019, entrou em operação no *campus* sede da UFERSA a Usina Solar Mossoró IV, situa-se nos pontos georreferenciais 05° 12' 28" S e 37º 19' 19" W, em uma área de 814,9 m² no telhado do Centro de Engenharias. O SFCR é composto por 439 módulos FV's de silício policristalino do fabricante *GCL,* modelo P6/72H-335W, conferindo uma potência instalada total de 147 kWp, conforme ilustra a Figura 6. Ademais, o SFVCR conta com 4 inversores trifásicos da empresa *WEG,* modelo SIW500H-ST36, perfazendo juntos uma potência de 144 kW.

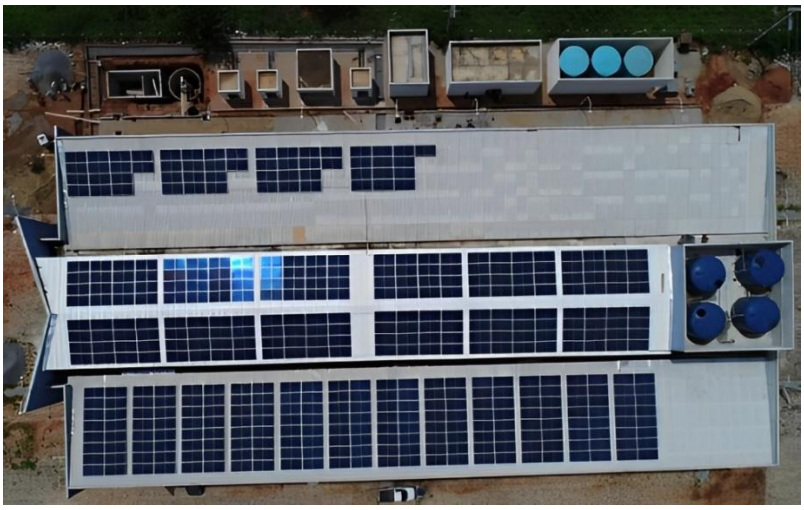


FIGURA 6. Vista superior da Usina Solar Mossoró IV de 147 kWp (adaptada de [9]).

No mês de junho de 2019, a UFERSA organizou a realização do III Workshop Usinas Solares Fotovoltaicas (UFV's), promovendo atividades dinâmicas e minicursos pertinentes a energia solar, bem como a sustentabilidade energética nos quatro campi da Instituição. O encontro proporcionou uma ampla discussão acerca das UFV's existentes na universidade, além de fomentar projeções futuras para implementação de novas usinas.

2.2.6. Ano de 2020

No que se refere ao ano de 2020, a UFERSA realizou a implementação de uma série de UFV's. Nessa ótica, em agosto de 2020 entra em operação as Usinas Solares Mossoró V e VI. Dessa maneira, as centrais geradoras supracitadas estão localizadas nas coordenadas 05° 12' 27" S e 37º 19' 24" W, compreendendo uma área de 943,2 m² no telhado do Pavilhão do Expocenter. Nesse sentido, o SFCR dispõe de 470 módulos FV's de silício policristalino do fabricante Astroenergy AstroSemi, modelo CHSM72M-HC-395W, outorgando uma potência instalada total de 185,65 kWp (*vide* Figura 7). Além disso, o SFCR é constituído por 8 inversores trifásicos da empresa WEG, modelo SIW500H-ST020, totalizando uma potência nominal de 160 kW.

FIGURA 7. Vista superior das Usinas Solares Mossoró V e VI de 185,65 kWp (adaptada de [9]).

Outrossim, nos meses de agosto e setembro de 2020, a UFERSA implementou as Usinas Solares Mossoró VII, VIII e IX, ambas com a mesma potência instalada, ou seja, 95,175 kWp. Dessa maneira, a UFV Mossoró VII encontra-se a 05° 12' 26" S e 37º 19' 22" W, abrangendo uma área de 472,8 m² no telhado do prédio do bloco de docentes II no Centro de Engenharias. Nesse contexto, o SFCR apresenta 235 módulos FV's de silício policristalino do fabricante Trina Solar, modelo TSMDE15M-405W. Consoante a isso, integram a UFV 4 inversores da WEG, modelo SIW500H-ST020, totalizando uma potência nominal de 80 kW. Por outro lado, a UFV Mossoró VIII, localizada nas coordenadas 05° 12' 25" S e 37º 19' 21" W, engloba uma área de 472,8 m²

no telhado do prédio de docentes do Centro de Ciência Exatas e Naturais (CCEN). De outra parte, a UFV Mossoró IX, situa-se nos pontos georreferenciais 05° 12' 24" S e 37º 19' 20" W, contemplando uma área de 472,8 m² no telhado do prédio da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG). É oportuno salientar, que os materiais que constituem as UFV's Mossoró VII, VIII e IX, apresentam especificações técnicas e são do mesmo fabricante. A Figura 8 denota as UFV's supracitadas.

FIGURA 8. Vista superior das Usinas Solares Mossoró VII, VIII e IX (adaptada de [9]).

Ainda em 2020, a UFERSA realiza a instalação das Usinas Solares Mossoró X, XI e XII, fornecendo uma potência instalada total de 255,31 kWp. Dessa forma, a UFV Mossoró X, encontra-se nas coordenadas 05° 12' 19" S e 37º 19' 24" W, compreendendo uma área de 471,6 m² no telhado do Bloco Administrativo II (Prédio Rosadão). O SFCR é formado por 235 módulos FV's de silício policristalino do fabricante Astroenergy AstroSemi, modelo CHSM72M-HC-395W, totalizando uma potência instalada 92,825 kWp. Aliado a isso, o SFCR também dispõe de 4 inversores da WEG, modelo SIW500H-ST020, com uma potência nominal de 20 kW cada. No que diz respeito a UFV Mossoró XI, localizada nos pontos georreferenciais 05° 12' 41" S e 37º 19' 44" W, faz-se importante destacar, que os seus parâmetros técnicos são exatamente os mesmos da UFV Mossoró X. Logo, o presente SFCR de 92,825 kWp, encontra-se no telhado do galpão de veículos de grande porte do Setor de Transportes da UFERSA. Finalmente, a UFV Mossoró XII, possui uma potência instalada total de 69,66 kWp, situando-se nas coordenadas 05° 12' 15" S e 37º 19' 38" W. O vigente SFCR compreende um arranjo de 172 módulos FV's de silício policristalino do fabricante Astroenergy AstroSemi, modelo CHSM72M-HC-405W. Ademais, o SFCR também conta com 3 inversores da WEG, modelo SIW500H-ST020, com uma potência nominal individual de 20 kW. A UFV abrange uma área de 346,05 m² e está localizada no telhado do prédio do bloco de Docentes II (campus Oeste) do Centro de Ciências Agrárias (CCA). A Figura 9 ilustra as USFV Mossoró X, XI e XII.

FIGURA 9. Vista superior das Usinas Solares Mossoró X, XI e XII (adaptada de [9]).

Sob outra perspectiva, em 2020, a UFERSA também realizou, em parceria com o projeto de Eficientização de Prédios Públicos e Energia com Cidadania, dentro do Programa de Eficiência Energética da COSERN, a substituição de toda a iluminação do campus Caraúbas por lâmpadas de LED.

2.2.7. Ano de 2021

Em fevereiro de 2021, a UFERSA realizou a implementação do monitoramento integrado de todas as UFV's por meio da plataforma Solarview. Dessa maneira, essa plataforma reúne dados em tempo real dos SFCR's, oportunizando o acesso da universidade as informações concernentes a economia de energia elétrica, geração de eletricidade, balanço energético, bem como aos relatórios diários, mensais e anuais de todo o portfólio de usinas. Nesse mesmo mês, a comissão gestora do PLS realizou uma vistoria nas lixeiras e contentores de resíduos da UFERSA, campus Mossoró, e após vistoria, solicitou à PROAD a aquisição de novos contentores, para apoiar a gestão adequada de resíduos na UFERSA. Foram realizadas recomendações quanto ao tipo de contentor, quantitativo a ser adquirido e descrição do produto. Também realizamos recomendações

quanto a identificação de lixeiras já existentes nas edificações da UFERSA e contratação de serviço para desfazimento ambientalmente adequado de lâmpadas, pilhas, baterias e resíduos químicos.

Em abril de 2021, a UFERSA assinou termo de cooperação com as Associações de Catadores de Materiais Recicláveis ASCAMAREM e ACREVI, para dar continuidade a coleta seletiva solidária na UFERSA, campus Mossoró.

Ainda em 2021, entraram em operação na UFERSA 8 usinas fotovoltaicas distribuídas nos campi de Mossoró (campus oeste), Angicos e Caraúbas.

A UFV Mossoró XIII foi inaugurada em julho de 2021, e está localizada nas coordenadas 05º 12’ 14” S e 37º 19’ 44” W, instalada no telhado do Laboratório do CCBS Biociências. A UFV Mossoró XIV situa-se nas coordenadas 05° 12' 13" S e 37º 19' 39" W instalada no telhado do Central de Aulas I (campus Oeste). Ambas dispõem de 85 módulos FVs de silício policristalino do fabricante CANADIAN SOLAR, modelo CS3W 450MS, totalizando uma potência instalada de 38,25 kWp. Aliado a isso, o SFVCR apresenta 1 inversor trifásico da empresa GROWATT MID, modelos 33KTL3-X, com uma potência de 33 kW. A Figura 10 denota as UFV’s supracitadas.

As usinas solares dos campi de Agicos foram instaladas em julho de 2021, ambas com potência instalada de 38,25 kWp, com 1 inversor cada do mesmo fabricante e modelo da USFV Mossoró XIII, com arranjo de 187,40m². A Usina Solar Angicos II está situada nas coordenadas 05º 39’ 15” S e 036º 0 36’ 51” instalada no telhado so Central de Aulas I, enquanto a Usina Solar Angicos III localiza-se a 05º 39’ 14” S e 036º 36’ 54” W instalada no telhado do Central de Aulas II.

Em Caraúbas, no mês de novembro de 2021, estraram em operação as USFV Caraúbas II e Caraúbas III, ambas com potência instalada de 38,13 kWp, com 1 inversor cada, do mesmo fabricante e modelo da USFV Mossoró XIII, com arranjo de 209,60m². A Usina Solar Caraúbas II está situada nas coordenadas 05º 46’ 25” S e 037º 34’ 12” W instalada no telhado so Central de Aulas I, enquanto a Usina Solar Caraúbas III localiza-se a 05º 46’ 22” S e 037º 34’ 12” W instalada no telhado do Central de Aulas II.

2.2.8. Ano de 2022

Em fevereiro de 2022, foi instituída a Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE), através da portaria Ufersa/GAB n° 75, de 18 de fevereiro de 2022, com o objetivo de assessorar a Reitoria na adoção de medidas para a redução do consumo de energia elétrica no âmbito da Ufersa. Em maio, foi realizada a primeira Reunião Ordinária da Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE).

Em abril de 2022, foram adquiridos 150 contentores para armazenamento temporário de resíduos domiciliares e 150 contentores para armazenamento temporário de materiais recicláveis, ao custo total de R$ 116.100,00. Estes contentores foram distribuídos proporcionalmente nos quatro campi da UFERSA. Eles estão devidamente identificados como recicláveis e não recicláveis, possuem rodas para facilitar o transporte e tampas para evitar a entrada de água da chuva e a visita de animais indesejados.

No mês de junho de 2022, a Comissão para a Coleta Seletiva Cidadã realizou um evento no Bosque dos Juazeiros da UFERSA, campus Mossoró, com o objetivo de orientação, sensibilização e arrecadação de materiais recicláveis e alimentos não perecíveis, destinados às famílias de catadores da ASCAMAREM Mossoró. O evento contou com o apoio da Comissão Gestora do Plano de Logística Sustentável, da Diretoria de Manutenção, do Setor de Produção de Mudas e da Assessoria de Comunicação da UFERSA. Foram arrecadados 113,5 kg de alimentos não perecíveis e 197 kg de materiais recicláveis, sendo 91 kg de papel, 58 kg de vidro, 39 kg de plástico e 9 kg de metal. Sobre outra perspectiva, ainda no mês de junho, a Comissão Gestora do Plano de Logística Sustentável da UFERSA elaborou um documento recomendando à Reitoria da UFERSA a criação de uma Comissão para desenvolver um Plano de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços da Saúde. Esta Comissão foi formalmente constituída em 07 de julho de 2022, através da Portaria nº 426. Após um extenso trabalho colaborativo entre os membros, a redação do Plano de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços da Saúde da UFERSA está em andamento.

No que diz respeito ao uso sustentável de água, em junho de 2022 entrou em operação sistema de aproveitamento de água de chuva instalado no Complexo Transportes, Patrimônio e Almoxarifado (TPA) do campus Mossoró, estimando-se um volume captado de água de chuva de 1.074 m3 anualmente, com uso previsto para lavagem de veículos.

Em julho de 2022, a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) inaugurou as instalações das Usinas Fotovoltaicas Mossoró XV e XVI, cada uma com capacidade de geração de 80,37 kWp. A usina Mossoró XV está localizada nas coordenadas geográficas 05º 12’ 04” S e 37º 19’ 34” W, ocupando 384,75m² no teto do Anexo II do Bloco de Docentes do CCSAH, no Campus Oeste. Esta usina é composta por 171 painéis fotovoltaicos de silício policristalino, produzidos pela JINKO, modelo JKM470M-7RL3, e três inversores da marca GROWATT MID, modelo 25KTL3-X, com potência nominal somada de 75 kW. A usina Mossoró XVI, por sua vez, situa-se em 05º 12’ 10” S e 37º 19' 21" W, abarcando 384,75 m² no teto da Ala de Grandes Animais do HOVET, também no Campus Oeste. Importante destacar que os componentes das usinas Mossoró XV e

XVI possuem especificações técnicas semelhantes e são oriundos do mesmo fabricante. A Figura 11 denota as UFV's supracitadas.

FIGURA 10. Vista superior das Usinas Solares Mossoró XV, XIV (adaptada de [9]).

Ativadas em julho de 2022, a USFV Pau dos Ferros II, ocupam a posiçções geográfica de 06º 06' 18" S e 38º 11' 02" W, sobre o edifício do Central de Aulas I. Já a UFV Pau dos Ferros III encontra-se a 06º 06' 14" S e 38º 10' 57" W, no topo do prédio do almoxarifado. Cada uma possui 71 módulos fotovoltaicos (FVs) de silício policristalino, fornecidos pela AMERISOLAR, modelo AS-7M144-HC, com capacidade total de geração de 38,34 kWp. Complementarmente, o Sistema Fotovoltaico de Compensação de Rede (SFVCR) inclui um inversor trifásico da GROWATT MID, modelo 33KTL3-X, com capacidade de 33 kW.

Já as instalações solares nos campi de Angicos foram concluídas em novembro de 2022, as USFV Angicos IV e V. Cada uma com capacidade de geração de 80,04 kWp e um inversor de fabricante e modelo, respectivamente, GROWATT MID e 25KTL3-X. Ambas abrangendo uma área de 375,49 m². A Usina Solar Angicos IV está localizada em 050 39' 17" S e 36º 36' 55" W, sobre o Bloco de Doscentes I, enquanto a Usina Solar Angicos V está posicionada em 05º 39' 15" S e 036º 36' 55" W, instalada no Bloco de Doscentes II.

Ainda em novembro de 2022, a Comissão Gestora do Plano de Logística Sustentável da UFERSA, atendendo a uma demanda da Pró-Reitoria de Administração, recomendou a contratação de um serviço especializado para elaborar um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para a instituição. A recomendação baseia-se na Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecida pela LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Neste mesmo mês, uma equipe da UFERSA submeteu o projeto "Energia Solar com Armazenamento em Baterias" (ESAB/UFERSA) à chamada pública MCTI/FINEP/FNDCT/CT-INFRA/ENERGIAS RENOVÁVEIS 2022 (Eficiência Energética - CT-Infra). Este edital visou o financiamento para a elaboração e implementação de projetos que promovem a eficiência energética, a conservação de energia e incentivem a adoção de fontes renováveis de energia em Instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) públicas. Coordenado pelo Professor Ednardo Pereira da Rocha, do Centro de Engenharias, o projeto teve como objetivo contratar uma empresa especializada para desenvolver um projeto executivo de implantação de um sistema de minigeração distribuída fotovoltaica no campus de Mossoró, com potência nominal estimada de 369 kWp, integrado a um sistema de armazenamento de energia em baterias (BESS), com potência estimada de 1.000 kW e capacidade de acumulação de 1.856 kWh.

Neste mesmo ano, a UFERSA contratou duas empresas especializadas em serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final (Cril Empreendimento Ambiental LTDA e Alpha Serviços e Construções LTDA) para destinação ambientalmente adequada de resíduos químicos, infectantes, lâmpadas, pilhas e baterias. O valor total gasto foi de R$ 53.251,14. Os materiais recicláveis gerados pela UFERSA em 2022 (média mensal: 1224,0 ± 303,9 kg) foram encaminhados para as Associações de Catadores de Materiais Recicláveis do município de Mossoró, ASCAMAREM e ACREVI, como estabelecido em Editais de Habilitação. Os resíduos domiciliares do campus de Mossoró (média mensal: 3204,0 ± 819,6 kg) foram coletados pela empresa contratada pela Prefeitura Municipal de Mossoró e encaminhados ao Aterro Sanitário deste município. Para apoiar a redução de resíduos, a UFERSA decidiu, em 2022, não comprar copos descartáveis para água, promovendo o uso de copos reutilizáveis. No entanto, a aquisição de copos descartáveis para café ainda é mantida, com a compra de 150.000 unidades ao custo de R$ 3.997,95, devido ao uso em experimentos laboratoriais e de campo. Com a implementação do processo eletrônico pela divisão de arquivo e protocolo, a UFERSA também diminuiu a compra de resmas de papel, adquirindo apenas 115 resmas de papel A4 em 2022, com um custo de R$ 2.649,60.

2.2.9. Ano de 2023

No ano de 2023, no mês de fevereiro, foram intaladas 2 USFV no Campus Pau dos Ferros. As Usinas Fotovoltaicas Pau dos Ferros IV e V, cada uma com capacidade de geração de 80, kWp. A usina Pau dos Ferros IV está localizada nas coordenadas geográficas 06º 06' 17" S e 38º 11' 00" W, ocupando 375,49m² no telhado

do prédio do Bloco de Docentes I. Esta usina é composta por 174 painéis fotovoltaicos de silício policristalino, produzidos pela JINKO, modelo JKM460M-60HL4-V, e três inversores da marca GROWATT MID, modelo 25KTL3-X, com potência nominal somada de 75 kW. Contendo as mesmas características e materiais, a USFV Pau dos Ferros V encontra-se nas coordenadas 06º 06’ 15” S e 38º 11’ 00” W no topo do prédio do Bloco de Docentes II.

No mês de março de 2023, a Comissão Gestora do Plano Diretor de Logística Sustentável e a Comissão para a Coleta Seletiva Cidadã promoveram um evento no Bosque dos Juazeiros da UFERSA, campus Mossoró, para divulgação de práticas sustentáveis no gerenciamento de resíduos, além de orientação, sensibilização e arrecadação de materiais recicláveis e de alimentos não perecíveis, que foram doados às famílias de catadores da ASCAMAREM e ACREVI.

Em de julho de 2023, a Comissão Gestora do Plano Diretor de Logística Sustentável e a Comissão para a Coleta Seletiva Cidadã, em parceria com o Coletivo Lixo Zero Mossoró, promoveram um evento no Auditório do Centro de Engenharias 1 da UFERSA, campus Mossoró, para divulgação de práticas sustentáveis no gerenciamento de resíduos, além de orientação, sensibilização e arrecadação de materiais recicláveis e de alimentos não perecíveis, que foram doados às famílias de catadores da ASCAMAREM e ACREVI.

Em agosto de 2023, o Conselho de Administração (CONSAD) da UFERSA aprovou o Plano de Arborização do campus Mossoró, que visa contribuir para o planejamento, execução e monitoramento das atividades de arborização neste campus.

Finalizando a análise do ano 2023, a Ufersa instalou torneiras temporizadas e descargas de duplo fluxo, em substituição a equipamentos que apresentaram defeito ou em novas instalações, para contribuir com a redução do consumo de água. Sob putro enfoque, a Comissão gestora do PLS elaborou e divulgou amplamente, a toda a comunidade da UFERSA, informes para noticiar ações de sustentabilidade no âmbito desta Universidade, incluindo gerenciamento de resíduos, eficiência energética, economia de água e conservação da biodiversidade. A comunicação ambiental também tem sido realizada por meio do instagram @ufersa.ambiental.

É válido destacar, que embora tenha-se citado as UFV’s existentes nos campi de Angicos, Caraúbas e Pau dos Ferros, o enfoque central do vigente trabalho é justamente as UFV’s e as medidas tocantes à eficiência energética implementadas no campus central da UFERSA (Mossoró).

3. RESULTADOS

Analisando os dados das medidas de eficiência energética da UFERSA (implementação de usinas de geração solar fotovoltaica; troca de lâmpadas convencionais (fluorescentes tubulares) pela tecnologia de LED; e outras iniciativas de eficiência energética na UFERSA), foi possível identificar e avaliar seus impactos e benefícios. As subseções seguintes detalham os resultados das análises e apresenta projeções futuras de geração de energia e economia financeira com as usinas fotovoltaicas da universidade.

3.1. Implementação de usinas de geração solar fotovoltaica

Segundo [13], a geração anual total de energia elétrica nas UFV’s da UFERSA campus Mossoró é estimada em 2.117.584 kWh. Dessa forma, ponderando um consumo médio residencial nacional de 200 kWh/mês, informado por [14], esse montante de geração seria suficiente para abastecer cerca de 8.625 residências.

É válido destacar, que considerando a modalidade tarifária Horo-sazonal Verde (HSV), este montante de energia produzida pelas UFV’s equivale a cerca de 85% do consumo do campus central da Universidade, sendo 49,8% gerado pelo campus Leste e 38,1% pelo capus Oeste, em um ano típico, outorgando-lhe uma economia anual de algo em torno de R$ 1.094.302 mil. A Tabela 1 mostra a estimativa de produção de energia, a porcentagem de consumo referente ao campus central da UFERSA (Mossoró) e a economia anual oriunda das UFV’s.

TABELA 1. Estimativa de geração anual das UFV’s da UFERSA (Mossoró) (autoria própria).

CAMPUS LESTE MOSSORÓ				
Usina	**Potência (kWp)**	**Produção Anual Estimada**		**Economia (R$)**
		Energia Gerada (kWh)	**Porcentagem de consumo do Campus (%)**	
Mossoró I	3,43	5.672	0,2	2.931
Mossoró II	150,8	249.363	7,3	128.863
Mossoró III	15,6	25.796	0,8	13.331
Mossoró IV	147	243.079	7,1	125.616
Mossoró V	92,83	153.504	4,5	79.326
Mossoró VI	92,83	153.504	4,5	79.326

Mossoró VII	95,18	157.390	4,6	81.334
Mossoró VIII	95,18	157.390	4,6	81.334
Mossoró IX	95,18	157.390	4,6	81.334
Mossoró X	92,83	153.504	4,5	79.326
Mossoró XI	92,38	153.504	4,5	79.326
Total	973,69	1.610.094	46,9	832.047

CAMPUS OESTE MOSSORÓ

Usina	**Potência (kWp)**	**Produção Anual Estimada**		**Economia (R$)**
		Energia Gerada (kWh)	**Porcentagem de consumo do Campus (%)**	
Mossoró XII	69,66	115.190	8,6	59.527
Mossoró XIII	38,25	63.250	4,7	32.686
Mossoró XIV	38,25	63.250	4,7	32.686
Mossoró XV	80,37	132.900	10	68.679
Mossoró XVI	80,37	132.900	10	68.679
Total	306,90	507.490	38,1	262.255

No que diz respeito as UFV's instaladas nos demais campus da UFERSA, a estimativa de energia gerada, a porcentagem de consumo e a economia proveniente das usinas solares são, nesta ordem, 494.889 kWh, 63,2% e R$ 255.744,00 para o campus Angicos, 495.551 kWh, 68,9% e R$ 256.086,00 para o campus Caraúbas e 495.187 kWh, 60,2% e R$ 255.898,00 para o campus Pau dos Ferros.

De outra parte, fundamentado no banco de dados do monitoramento integrado das UFV's por meio da plataforma *Solarview* (2024) [15], tornou-se possível realizar uma estimativa acerca da geração de energia elétrica em kWh do portfólio de usinas desde a sua entrada em operação até o presente momento, conforme evidencia a Figura 12.

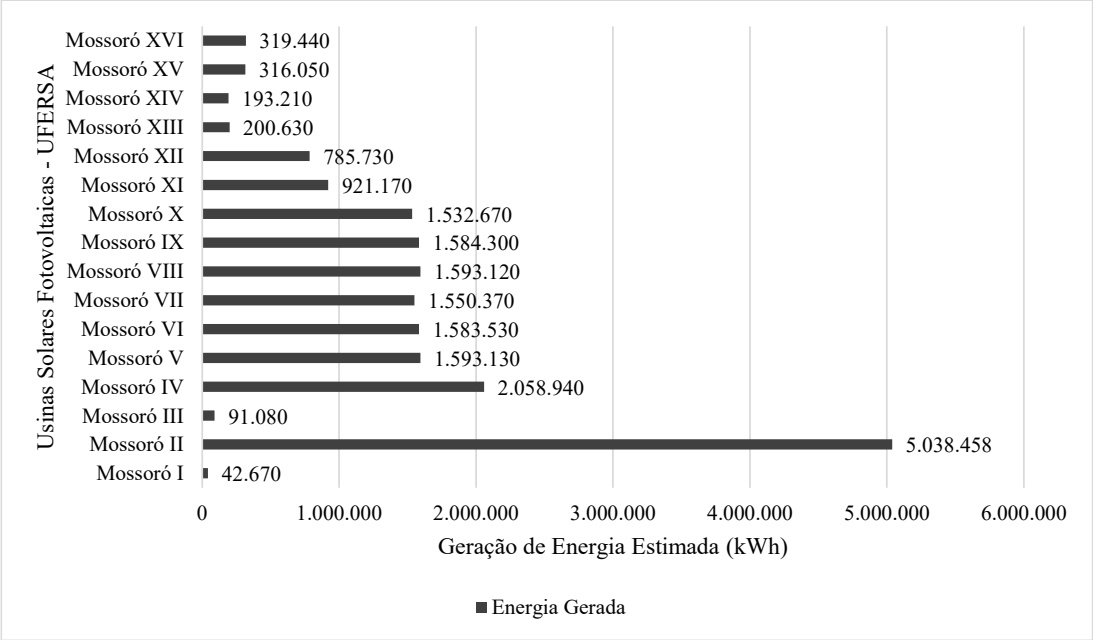


FIGURA 11. Geração de energia das UFV's da UFERSA campus Mossoró desde a sua entrada em operação (autoria própria).

Nesse sentido, analisando-se a Figura 11, nota-se que a maior estimativa de produção de energia elétrica se refere a Usina Solar Mossoró II, gerando aproximadamente 5.038.458 kWh. Tal fato pode ser justificado em virtude da sua maior potência instalada (150,8 kWp), bem como do seu tempo em plena operação (desde novembro de 2016). Dessa maneira, aplicando-se a estrutura tarifária Horo-sazonal Verde (HSV), pela qual a Universidade está enquadrada, conclui-se que esse quantitativo de energia produzida forneceu ao campus sede uma economia monetária de R$ 2.504.603,57. Aliado a isso, considerando-se a estimativa da geração fotovoltaica de todo o portfólio das UFV's da UFERSA campus Mossoró, desde a sua entrada em operação até o presente momento (ano 2024), verifica-se um montante de energia de aproximadamente 19.404.498 kWh, proporcionando à Universidade uma economia total de cerca de R$ 9.645.922,40.

De acordo com [11], sabendo que a geração de energia elétrica denota um fator médio anual de 0,083 tCO2/MWh, confrontando-se a estimativa de geração de eletricidade proveniente das UFV's com indicadores tocantes à sustentabilidade ambiental, conclui-se que a UFERSA reduziu a emissão de CO_2 na atmosfera em aproximadamente 299 toneladas por ano, o que equipara-se ao sequestro de carbono equivalente a 5,50 hectares de vegetação da Caatinga, ou ao plantio de 3.216 árvores deste bioma.

3.2. Troca de lâmpadas convencionais pela tecnologia de LED

Sabe-se que as lâmpadas de LED são 80% mais economicas, eficientes e de maior durabilidade que as lâmpadas incandescentes convencionais [16]. Dito isso, desde o ano de 2019 a UFERSA tem investido consideravelmente na substituição das lâmpadas convencionais por lâmpadas da tecnologia de LED.

Ao realizar um estudo pormenorizado acerca da substituição das lâmpadas tradicionais da Universidade pelas lâmpadas de LED em 2019, foi identificado por meio de inspeções visuais, que as principais lâmpadas existentes nos prédios da UFERSA são do tipo fluorescente tubular, cuja potência nominal é de 40W [16]. Desse modo, para viabilizar a troca das mesmas, a Instituição realizou a aquisição de lâmpadas de LED equivalentes as lâmpadas fluorescentes descritas anteriormente. A Tabela 2 evidencia uma comparação das especificações técnicas entre as lâmpadas fluorescentes de 40W existentes, com as lâmpadas de LED incorporadas na iluminação da UFERSA e a Figura 13 ilustra o quantitativo de lâmpadas de LED instaladas nos prédios da UFERSA no período de 2019 a 2021.

TABELA 2. Comparação entre as lâmpadas fluorescentes com as lâmpadas LED instaladas nos prédios da UFERSA (autoria própria).

Lâmpadas		
Tipo	***Potência Nominal (W)***	***Fluxo Luminoso (lm)***
Fluorescente Tubular	40	2.500
LED Tubular	18	2.100
LED Tubular	10	900
LED Compacta	10	900

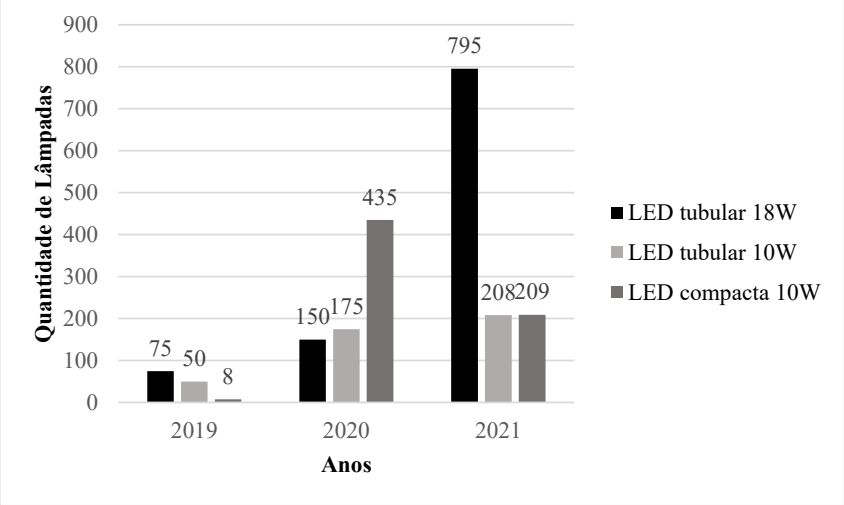


FIGURA 12. Número de lâmpadas de LED instaladas nos prédios da UFERSA no período de 2019 a 2021 (autoria própria).

Entre os anos de 2019 e 2021, a UFERSA substituiu 2.105 lâmpadas fluorescentes de 40W por lâmpadas de LED, sendo 133 em 2019, 760 em 2020 e 1.212 em 2021, reduzindo assim a carga de iluminação instalada de 84,20 kW para 29,21 kW, representando uma economia de aproximadamente R$ 6.000,00 mensais, considerando a tarifa por kWh do Grupo A determinada pela ANEEL e regida pela Companhia Energética do Rio Grande do Norte [17].

Do ano de 2022 à 2024 não foi encontrado registros detalhados concernentes a quantidade, potência e tipo de lâmpada trocado, contudo, segundo a Superintendência de Infraestrutura, através da parceria da UFERSA com a Neoenergia Cosern, já foram instaladas mais de 10.000 lâmpadas LED na Universidade.

3.3. Outras Iniciativas de Eficiência Energética na UFERSA

Após a publicação da portaria Nº 0430/2016, a UFERSA criou o Programa de Eficiência Energética (PEE), que promoveu ações de sustentabilidade energética e campanhas de uso consciente da eletricidade. Nessa

conjuntura, as medidas do PEE reduziram o desperdício de energia e otimizaram o uso de recursos, trazendo benefícios quantitativos e qualitativos à comunidade acadêmica. Estas ações também impulsionaram a disseminação de conhecimentos sobre eficiência energética e Geração Distribuída Fotovoltaica (GD-FV).
Em 2019, a UFERSA implementou uma Usina de Compostagem, transformando todos os resíduos de podas, cascas de frutas, vegetais e alimentos descartados em adubo orgânico. Essa usina, de acordo com [11], já processou cerca de 5 toneladas de resíduos, fornecendo adubo de qualidade para pesquisas em agronomia e cultivo de hortaliças e diversas espécies de plantas no âmbito da instituição.

3.4. Projeções de geração de energia e economia monetária das UFV's

Realizou-se projeções futuras a curto, médio e longo prazo, relativas à geração de energia elétrica, bem como da economia monetária concedida por todo o portifólio de UFV's da instituição, conforme denotado na Tabela 3. Contudo, é oportuno salientar que em virtude das perdas de geração e redução da vida útil dos equipamentos que integram as UFV's, as oscilações referentes aos valores praticados das tarifas de energia elétrica do Grupo A, bem como do fator da imprevisibilidade do recurso solar, as projeções realizadas no presente trabalho apresentam um erro estimado em ± 5%.

TABELA 3. Projeções futuras de geração fotovoltaica e economia das usinas solares da UFERSA a curto, médio e longo prazo (autoria própria).

Portfólio de UFV's da UFERSA		
Ano	***Estimativa de Geração de Energia (MWh)***	***Economia (R$)***
2025	18.000	5.600.000,00
2030	34.500	10.800.000,00
2035	52.000	16.300.000,00
2040	70.000	22.000.000,00

Através da Tabela 3, nota-se que até 2025, as usinas fotovoltaicas da UFERSA deverão produzir cerca de 18.000 MWh, resultando em uma economia de aproximadamente R$ 5.600.000,00. Em 2030, a produção deverá chegar a 32.000 MWh, economizando R$ 10.000.000,00. Em 2035, a produção deverá aumentar para 48.000 MWh, economizando R$ 15.000.000,00. Finalmente, em 2040, a produção está estimada em 60.000 MWh, resultando em uma economia de R$ 18.750.000,00 para a universidade.alcançará um montante de 60.000 MWh, propiciando uma poupança de R$ 18.750.000,00 para a Universidade.

Analisando as projeções de geração de energia das UFVs da UFERSA, nota-se um crescimento linear de cerca de 14.000 MWh a cada 5 anos. Entretanto, a longo prazo, a eficiência pode diminuir devido à redução da vida útil dos módulos e inversores. Somando a geração anual das UFVs atuais e futuras, que serão majoritariamente instaladas no campus Mossoró, é esperado que se atinja cerca de 75% do consumo do campus central. Eventualmente, a geração se igualará à demanda contratada pela UFERSA, praticamente atendendo toda a necessidade de energia elétrica da comunidade acadêmica.

4. CONCLUSÃO

Para oportunizar o desenvolvimento do presente trabalho, tornou-se necessário, em primeiro plano, compreender o contexto da eficiência energética no cenário brasileiro, bem como a importância da implementação de medidas tocantes a essa temática em órgãos e entidades da administração pública, sobretudo nas universidades federais.

Por conseguinte, realizou-se um estudo de caso na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), averiguando quantitativamente e qualitativamente os impactos da inserção das medidas de eficiência energética na vigente instituição. Dessa maneira, efetuou-se uma abordagem histórica, em ordem cronológica, no que concerne às ações voltadas a eficiência energética incorporadas pela UFERSA nos últimos anos.

Nesse sentido, fundamentado na descrição detalhada acerca das medidas de eficiência energética concretizadas pela referida Universidade na última década, concluiu-se que tomando como base as estimativas de geração de energia elétrica das UFV's implementadas na UFERSA campus Mossoró, constatou-se que as mesmas, desde a sua entrada em operação até a presente data, foram responsáveis pela geração de algo em torno de 19 GWh, fornecendo à Instituição uma economia monetária total de cerca de 9,4 bilhões de reais.

De outra parte, em virtude da substituição de lâmpadas convencionais (fluorescentes tubulares) por lâmpadas de LED nos prédios da UFERSA, percebe-se que após o ano de 2019 houve uma redução da carga instalada referente à iluminação da Universidade, concedendo uma economia mensal em torno de R$ 6.000,00.

Por todo o exposto, as ações pertinentes à eficiência energética recentemente adotadas pela UFERSA, pelas quais foram enfatizadas no presente estudo, promoveu vários benefícios quantitativos e qualitativos a toda comunidade acadêmica, tais como a diminuição do desperdício de energia elétrica, a otimização do uso consciente dos recursos energéticos, a difusão de conhecimentos e práticas referentes à eficiência energética, bem como o fortalecimento da Geração Distribuída Fotovoltaica (GD-FV) na Instituição.

REFERÊNCIAS

[1] ALTOÉ, L.; COSTA, M. J.; FILHO, D. O.; MARTINEZ, F. J. R.; FERRAREZ, A. H.; VIANA, L. A. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. Estudos Avançados**, v. 31, n. 39, p. 285-297, 2017. ISSN 0103-4014. DOI: https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890022

[2] FERREIRA, T. V. B. **Atlas de Eficiência Energética**. Empresa de Pesquisa Energética/Ministério de Minas e Energia – EPE/MME, 149p., 2019.

[3] EVANGELISTA, Artur de Almeida. **Análise de eficiência energética do Instituto Federal do Ceará - *Campus* Fortaleza**. 2018. 80f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Maracanaú, Ceará, Brasil, 2018. Disponível em: <http://ppger.ifce.edu.br/wp-content/uploads/2018/11/EVANGELISTA-A.A..pdf>.

[4] SANTOS, R. E.; MALDONADO, O.; VIEIRA, N.; REIS, L.; HADDAD, J. Análise do Desempenho Energético do Programa de Eficiência Energética (PEE) da Aneel. THE XI LATIN-AMERICAN CONGRESS ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION – CLAGTEE, São José dos Campos/SP, 2015. **Anais** [...]. José dos Campos/SP, p. 1-8, nov. 2015.

[5] RUFINO, Romeu Donizete. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE**. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Programa de Eficiência Energética (PEE), 184p., 2017.

[6] COSTA, Raimisson Rodrigues Ferreira. **Avaliação do Programa Brasileiro de Etiquetagem e níveis mínimos de Eficiência Energética**: uma avaliação baseada em teoria. 2017. 161f. Tese (Doutorado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento), Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPED/Teses/2017/Raimisson%20Rodrigues%20Ferreira%20Costa.pdf>.

[7] SILVA, João Lucas de Souza. Análise do avanço da geração distribuída no Brasil. VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, Gramado/RS, 2018. **Anais** [...]. Gramado/RS, p. 1-11, dez. 2018. eISSN: 2965-6613. DOI: https://doi.org/10.59627/cbens.2018.535.

[8] BESSA NETO. L. J. VARELLA, F. K. O. M. **Análise da Inserção de Medidas de Eficiência Energética em Universidade Pública**. 2022. 11 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica) – Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/94e6b688-8725-4cff-abd5-6f5f89f857c1>.

[9] ASSECOM (Ed.). **Usinas Solares da UFERSA**. 2024a. Disponível em: < https://usinasolar.ufersa.edu.br

[10] SOUSA, E. M. R.; LEMOS, H. T. Q.; GUERRA, F. K. O. M. V. **Análise da operação e manutenção da usina solar fotovoltaica Mossoró II da UFERSA**. Departamento de Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, p. 1-9, 2019.

[11] ASSECOM (Ed.). **UFERSA Ambiental:** Gestão de resíduos. 2024b. Disponível em: <https://ambiental.ufersa.edu.br/gestao-de-residuos/>.

[12] GOOGLE. Google Earth. Disponível em: http://earth.google.com.

[13] ASSECOM (Ed.). **Geração de energia elétrica das usinas solares da UFERSA**. 2024c. Disponível em: <https://usinasolar.ufersa.edu.br/geracao-de-energia-eletrica/>.

[14] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE (Brasil). **Balanço energético nacional - 2023: ano base 2022**. Rio de Janeiro, EPE, 2023, 274p. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>.

[15] SOLARVIEW. **Monitoramento da geração de energia das usinas solares fotovoltaicas da UFERSA**. 2021. Disponível em: <https://my.solarview.com.br/unidades-publicas/32583>.

[16] MORAIS JÚNIOR, F. E. G.; GUERRA, F. K. O. M. V. **Análise da Inserção de Lâmpadas LED em Prédios da UFERSA**. Departamento de Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, P. 1-10, 2019.

[17] COMPANHIA ENERGÉTICA DO RIO GRANDE DO NORTE – Neoenergia COSERN. **Tabela de tarifas de energia elétrica**: Grupo A. COSERN, p. 1-5, 2021. Disponível em: <https://servicos.neoenergiacosern.com.br/comercial industrial/Pages/Alta%20Tens%C3%A3o/tarifas-grupo-a.aspx/>.

Universidade Federal Rural do Semi-árido
Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica
ISSN 2763-5325 | DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325

Artigo

Controle de potência de aerogeradores de indução duplamente alimentados (DFIG) em um sistema de transmissão utilizando *particle swarm optimization* (PSO) e *ladder iterative technique* (LIT)

Adriano Aron Freitas de Moura [1], Sanderson Aron Moura Gurgel Sinedino de Oliveira [2], Ednardo Pereira da Rocha[3] e Victor de Paula Brandão Aguiar [4]

[1] Universidade Federal Rural do Semiárido; adrianoaron@ufersa.edu.br
[2] Universidade Federal Rural do Semiárido; sandersonaron@gmail.com
[3] Universidade Federal Rural do Semiárido; ednardo.pereira@ufersa.edu.br
[4] Universidade Federal Rural do Semiárido; victor@ufersa.edu.br

Recebido: 26/03/2025;
Aceito: 07/07/2025;
Publicado: 20/07/2025.

Resumo: Este trabalho propõe determinar os valores das tensões do rotor para controlar as potências no estator das turbinas eólicas em regime permanente em um valor determinado em uma rede de transmissão. Para isso foi simulado um sistema de geração eólica baseado em *DFIG* (do inglês, *Doubly-fed Induction Generator*) em funcionamento, assim como, sua operacionalização e controle. Foi utilizada a Otimização por Nuvem de Partículas (do inglês, *Particle Swarm Optimization* - *PSO*), para se obter uma determinada potência ativa e reativa trifásicas no estator e *a Ladder Iterative Technique* (*LIT*), para a varredura do sistema, que permitiu determinar a tensão do rotor. A modelagem do DFIG foi desenvolvida através de modelos que refletem os mesmos cálculos realizados pelo *software ATP-EMTP* em regime permanente, conhecendo a variação das grandezas elétricas em vários pontos da topologia *DFIG* e posteriormente comparados os resultados obtidos no *MATLAB* com os modelos desenvolvidos nas simulações. A *PSO* foi utilizada para determinar as tensões no rotor que serão capazes de entregar potências determinadas no estator. Após simulações, constatou-se que a *PSO* representa uma técnica de otimização rápida e robusta e que as potências especificadas no estator foram alcançadas pela *PSO*.

Palavras-chave: Gerador de indução de dupla alimentação; transmissão de energia; nuvem de partículas

Abstract: This work proposes determining the rotor voltage values to control the stator power of wind turbines in steady-state operation at a specified value in a transmission grid. To achieve this, a wind generation system based on DFIG (Doubly-fed Induction Generator) was simulated in operation, as well as its operationalization and control. Particle Swarm Optimization (PSO) was used to obtain a specific active and reactive three-phase power in the stator, and the Ladder Iterative Technique (LIT) was used to scan the system, which allowed the determination of the rotor voltage. The DFIG modeling was developed using models that reflect the same calculations performed by the ATP-EMTP software in steady-state operation, considering the variation of electrical quantities at various points in the DFIG topology, and the results obtained in MATLAB were later compared with the models developed in the simulations. PSO was used to determine the rotor voltages that would be able to deliver specified powers to the stator. After simulations, it was found that PSO represents a fast and robust optimization technique, and the specified powers in the stator were achieved by PSO.

Key-words: Doubly fed induction generator; electrical transmission of energy; particle swarm optimization

1. INTRODUÇÃO

O controle de potência do *DFIG* em um sistema de transmissão é um problema importante na geração de energia renovável. A *Particle Swarm Optimization* (*PSO*) e a *Ladder Iterative Technique* (*LIT*) são técnicas de otimização e de varredura do sistema, respectivamente, que podem ser usadas para ajustar os parâmetros de controle do *DFIG* para maximizar a eficiência e minimizar as perdas de energia.

A *PSO* é um algoritmo de otimização que se baseia em simular o comportamento de uma população de pássaros que voam em busca de alimento, para encontrar a melhor solução em um espaço de busca. Já a *LIT* é uma técnica iterativa que ajusta os valores dos parâmetros de controle do *DFIG* em cada iteração, de acordo com um conjunto de regras predefinidas [1].

Sendo assim, o objetivo desse trabalho é determinar as tensões do rotor para controlar a potência no estator do *DFIG* utilizando Otimização por Nuvem de Partículas (*PSO*) e *Ladder Iterative Technique* (*LIT*). Estas duas técnicas servirão de ferramentas para determinar a tensão do rotor para injetar uma determinada potência em um determinado sistema de potência de transmissão.

A seguir serão apresentadas todas as modelagens do *DFIG* inserido em um sistema de transmissão, modelagem matemática no *MATLAB* da *PSO* utilizada e aplicação da *LIT* para solução do problema da varredura do sistema.

2. MATERIAIS E MÉTODOSSerão apresentadas a PSO e a Ladder Iterative Technique nesta seção como ferramentas aplicadas na obtenção das potências ativas e reativas trifásicas em um sistema elétrico no estator de um DFIG.

2.1 *Particle Swarm Optimization* (*PSO*)

Nesta seção será apresentada a teoria de forma resumida sobre a qual se embasa esse artigo, ou seja, o algoritmo de otimização de nuvem de partículas. O algoritmo PSO é iniciado criando uma população de soluções aleatórias (partículas), onde cada solução potencial é associada a uma velocidade aleatória, responsável por criar o movimento dessas partículas por todo o espaço de solução do problema. De acordo com [2], para uma nuvem de tamanho N e dimensão D, a população de partículas é denotada por X = [X1, X2, ..., Xn], onde cada partícula é Xi = [Xi,1, Xi,2, ..., Xi,D]. E associado à população inicial, há o vetor de velocidade inicial V, denotado por V = [V1, V2, ..., Vn], onde a i-ésima partícula possui uma velocidade especificada por Vi = [Vi,1, Vi,2, ..., Vi,D].

Para guiar a evolução do enxame na busca pela solução ótima, dois valores são utilizados. De acordo com [2], o primeiro, chamado $Pbest_{i,j}^{k}$ (melhor global), corresponde à melhor posição (valor associado à melhor solução) que cada partícula i alcançou ao longo de sua trajetória na dimensão j do espaço de solução durante um certo tempo. O segundo parâmetro, chamado $Gbest_{j}^{k}$ (melhor de todos), corresponde à posição da melhor partícula (a melhor solução possível) em toda a população durante um certo tempo. Com base nesses valores e na velocidade atual multiplicada por um fator de inércia, ω, as velocidades e posições das partículas são atualizadas recursivamente até que o algoritmo atinja a convergência, conforme mostrado nas Equações 1 e 2.

$$V_{i,j}^{k+1} = \omega * V_{i,j}^{k} + c_1 * r_1 * \left(Pbest_{i,j}^{k} - X_{i,j}^{k}\right) + c_2 * r_2 * \left(Gbest_{j}^{k} - X_{i,j}^{k}\right) \quad (1)$$

$$X_{i,j}^{k+1} = X_{i,j}^{k} + V_{i,j}^{k+1} \quad (2)$$

Onde r_1 e r_2 são números aleatórios, e c1 e c2 são parâmetros usados para ponderar a influência de $Pbest_{i,j}^{k}$ e $Gbest_{j}^{k}$, respectivamente. A Figura 1 ilustra a soma vetorial apresentada nas Equações 1 e 2.

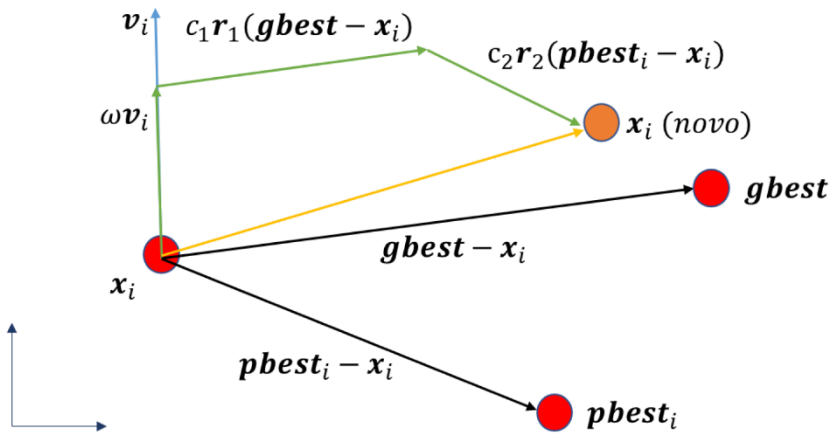


FIGURA 1. Representação vetorial da atualização da posição da i-ésima partícula no enxame [2].

 DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325.v7n1a14128.2025

De acordo com [3], é comum modificar o valor de ω durante o processo iterativo como uma maneira de reduzir a velocidade da partícula, diminuindo assim as chances de "pular" por pontos ótimos. Existem vários métodos para modificar o valor do coeficiente de inércia. As Equações 3 e 4 apresentam as duas formas mais frequentemente encontradas na literatura.

$$\omega = \omega_{max} - k * (\omega_{max} - \omega_{min})/Iter_{max} \quad (3)$$

$$\omega = \omega_{damp} * \omega \quad (4)$$

Na Equação 3, $Iter_{max}$representa o número máximo de iterações, e ω_{max} e ω_{min} são os limites superior e inferior para ω. Por outro lado, na Equação 4, ω_{damp} representa um coeficiente de amortecimento, normalmente usado com um valor de 0,9.

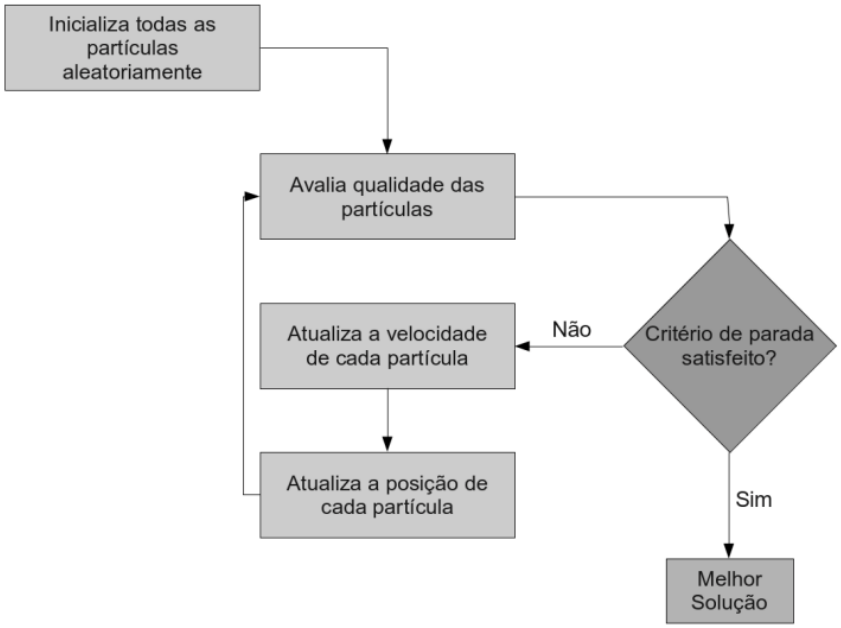


FIGURA 2. Fluxograma da PSO [4].

De acordo com [5], os valores mais comumente usados para os parâmetros do PSO são os seguintes:

- Fator de inércia (ω): 0,4 a 0,9.
- Fatores de aceleração (c1 e c2): 2 a 2,05.
- Tamanho da população: 10 a 100.
- Número máximo de iterações (Iter_max): 500 a 10.000.
- Velocidade inicial: 10% da posição inicial.

Um fluxograma detalhado do PSO considerando os passos acima é mostrado na Figura 2.

2.2 *Ladder Iterative Technique* (*LIT*)

Este trabalho abordou o desenvolvimento e simulação de um sistema de geração eólica conectado a uma rede elétrica com tensão de 22kV composta por duas linhas de transmissão, equipado com gerador de indução duplamente alimentado (*DFIG*).

De acordo com [6], na LIT, o sistema é percorrido ramo por ramo, movendo-se de um para outro sempre que um ponto de "junção" é encontrado. O passo forward consistem em se mover dos nós isolados até o nó da subestação e o passo backward consiste em se mover da subestação até os nós isolados. Em ambos, usando a lei de queda de tensão que descreve cada ramo do sistema.

No passo *backward* do método *Ladder*, os fasores de tensão e corrente em cada barramento n do sistema são calculados com base no barramento adjacente m. No caso de o barramento n ser um ponto de "junção", a última tensão calculada de todos os barramentos diretamente conectados a ele é adotada, juntamente com a corrente resultante obtida aplicando a Lei das Correntes de Kirchhoff. No passo *forward*, os fasores de tensão no barramento m são calculados com base na tensão conhecida no barramento n e na corrente calculada no passo *forward*.

Passo *forward*:

$$[V_{ABC}]_n = [a].[V_{abc}]_m + [b].[I_{abc}]_m \tag{5}$$

$$[I_{ABC}]_n = [c].[V_{abc}]_m + [d].[I_{abc}]_m \tag{6}$$

Passo *backward*:

$$[V_{ABC}]_m = [A].[V_{abc}]_n - [B].[I_{abc}]_m \tag{7}$$

Onde $[V_{ABC}]_n$ é o vetor de tensão trifásica no nó de envio, $[V_{abc}]_m$ é o vetor de tensão trifásica no nó de recebimento, $[I_{ABC}]_n$ é o vetor de corrente de linha no nó de envio e $[I_{abc}]_m$ é o vetor de corrente de linha no nó de recebimento. As matrizes [a], [b], [c] e [d] podem ser encontrados na referência [1].

Em [1], observa-se que a corrente no nó de envio é igual à corrente no nó de recebimento. As matrizes [A] e [B] são determinadas com base na modelagem dos elementos do sistema. De acordo com [1]:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$B = [Z] = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} \\ z_{31} & z_{32} & z_{33} \end{bmatrix} \tag{9}$$

2.3 Modelagem do DFIG em regime permanente

Esta modelagem utiliza o modelo equivalente do DFIG para estado estacionário, pode ser modelado como um circuito no *ATP-EMTP* (Alternative Transient Program-Electromagnetic Transients Program) ou matematicamente em qualquer programa de cálculo numérico. O objetivo é injetar correntes Ir_{abc} no rotor calculadas com o algoritmo desenvolvido no *MATLAB* com o método *PSO* utilizando o *LIT* e determinar a tensão resultante no mesmo, fazendo o algoritmo convergir para se determinar as potências especificadas no estator do DFIG.

A Figura 3 mostra o modelo equivalente para o estado estacionário do *DFIG* visto do lado do estator. Nela, observa-se que a tensão nos terminais e a resistência do rotor vistas pelo estator são afetadas pelo escorregamento.

Por outro lado, a corrente do rotor é a mesma que veríamos no modelo detalhado. Portanto, se injetarmos as correntes do rotor Ir_{abc} necessárias para produzir os valores de potência ativa e reativa desejados para o ponto inicial do aerogerador, pode-se determinar a tensão no nó do rotor necessária para inicializar o *DFIG*. É

importante notar que no circuito da figura 3, a defasagem entre o rotor e o estator deve ser considerado, o qual depende do tipo de conexão dos enrolamentos do *DFIG* [7].

Onde Vs é tensão fase-neutro do estator, ωs é frequência elétrica das tensões do estator, Lls é a indutância de ligação do estator, Llr é a indutância de ligação do rotor, Lm é a indutância de magnetização, Rs é a resistência do estator, Rr é a resistência do rotor, s é o escorregamento da máquina e t é a relação de transformação entre as tensões do estator e do rotor.

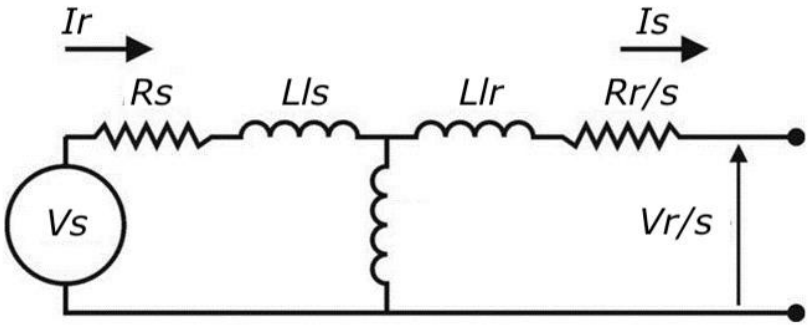


FIGURA 3. Modelo equivalente convencional monofásico para o regime permanente do DFIG [7].

É importante destacar que os parâmetros do DFIG para simulação no ATP incluem as resistências do estator, a indutância de magnetização, a indutância de ligação do estator, a resistência do rotor e a indutância de ligação do rotor referidas ao estator. Com base no circuito equivalente mostrado na Figura 3, pode-se observar que o DFIG é descrito pelas seguintes equações em regime permanente [7].

$$I_s = \left(\frac{S_S}{V_S}\right)^* \tag{10}$$

$$V_s = (R_S + j\omega_s L_{lS}).I_S + V_m \tag{11}$$

$$V_m t - \frac{I_r}{t}\left(\frac{R_r}{s} + j\omega_s L_{lR}\right).t^2 = V_r t/s \tag{12}$$

As equações (13) a (15) determinam as matrizes de impedâncias do circuito [7].

$$Matriz_{RL} = \begin{bmatrix} Z_{estator} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{estator} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{estator} \end{bmatrix} \tag{13}$$

$$Matriz_{Rotor} = \begin{bmatrix} Z_{rotor} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{rotor} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{rotor} \end{bmatrix} \tag{14}$$

$$Matriz_{Xm} = \begin{bmatrix} \frac{1}{(j * X_m)} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{(j * X_m)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{(j * X_m)} \end{bmatrix} \tag{15}$$

 DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325.v7n1a14128.2025

Os valores de tensão e corrente no estator são definidos por:

$$\begin{bmatrix} V_{Al} \\ V_{Bl} \\ V_{Cl} \end{bmatrix} = V_{pico}.\left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right).\begin{bmatrix} \frac{e^{\frac{-j\pi}{2}}}{\sqrt{2}} \\ \frac{e^{\frac{j5\pi}{6}}}{\sqrt{2}} \\ \frac{e^{\frac{j\pi}{6}}}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \tag{16}$$

$$\begin{bmatrix} I_{Al} \\ I_{Bl} \\ I_{Cl} \end{bmatrix} = \sqrt{2}.\begin{bmatrix} \frac{SA}{V_{Al}} \\ \frac{SB}{V_{Bl}} \\ \frac{SC}{V_{Cl}} \end{bmatrix}^{*}.\sqrt{2} \tag{17}$$

A tensão de fase na magnetização (V_{ABC}) e a corrente de linha do estator do DFIG (I_{ABC}) são definidas por (o ATP-EMTP trabalha com os valores pico de tensão e corrente):

$$V_{ABC} = \begin{bmatrix} V_{Al} \\ V_{Bl} \\ V_{Cl} \end{bmatrix}.\sqrt{2} + Matriz_{RL}.\begin{bmatrix} I_{Al} \\ I_{Bl} \\ I_{Cl} \end{bmatrix} \tag{18}$$

$$I_{ABC} = \begin{bmatrix} I_{Al} \\ I_{Bl} \\ I_{Cl} \end{bmatrix} + Matriz_{Xm}.\begin{bmatrix} V_{A} \\ V_{B} \\ V_{C} \end{bmatrix} \tag{19}$$

As equações a seguir descrevem de forma trifásica a conexão Yd9 entre o estator e o rotor do DFIG, que é uma conexão estrela-delta descrita na referência [8], no apêndice B.2.5. Nessa conexão a tensão de fase da fase A do lado primário, está deslocada de 90 graus da tensão de fase da fase A do lado secundário. As equações (20)-(23) representam as matrizes responsáveis por converter as tensões de linha em tensões de fase, baseadas nas transformações de componentes simétricas conforme definidas por [1], e na matriz de transformação associada.

$$AV = \frac{1380}{\frac{V_{pico}}{\sqrt{3}}}.\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{20}$$

$$W = \frac{1}{3}.\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 2 \end{bmatrix} \tag{21}$$

$$V_{abc} = AV.V_{ABC} \tag{22}$$

$$VLG_{abc} = W.V_{ABC} \tag{23}$$

Transformando tensões e correntes para referencial do estator, temos:

$$I_{\Delta abc} = -\left(\frac{\frac{V_{pico}}{\sqrt{3}}}{1380}\right).\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{24}$$

$$I_{abc} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}.I_{\Delta abc} \tag{25}$$

 DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325.v7n1a14128.2025

$$V_{abc2}^{r} = VLG_{abc} - Matriz_{rotor}.4.I_{abc} \quad (26)$$

A equação (26) representa a operação em modo subsíncrono e é diferente para o modo supersíncrono. Deve-se, então, fazer uma alteração de sinal na equação que representa o valor de V_{abc2}^{r}. Logo, respeitando a polaridade da tensão do rotor e o sentido dos fluxos de corrente, a equação será:

$$V_{abc2}^{r} = VLG_{abc} + Matriz_{rotor}.4.I_{abc} \quad (27)$$

Sendo assim, essas equações descrevem as operações em regime permanente em todos os modos de operação subsíncrono e supersíncrono. Vale salientar que durante a operação do modo supersíncrono ocorre uma alteração natural de sequência de fases, sendo necessárias alterações no ATP com o bloco de transposição de fases.

O algoritmo consiste em iniciar as tensões do rotor como aleatórias no espaço de busca. Logo em seguida a técnica LIT é processada para que as tensões sejam ajustadas e em seguida a função objetivo da nuvem de partículas é testada fazendo com que a nuvem de partículas vá salvando as melhores soluções. A função objetivo da nuvem de partículas é:

$$f = abs(P_{esp} - P_{calc}) + abs(Q_{esp} - Q_{calc}) \quad (28)$$

Onde:

$P_{esp} - Potência\ ativa\ trifásica\ especificada\ no\ estator\ do\ DFIG$

$Q_{esp} - Potência\ reativa\ trifásica\ especificada\ no\ estator\ do\ DFIG$

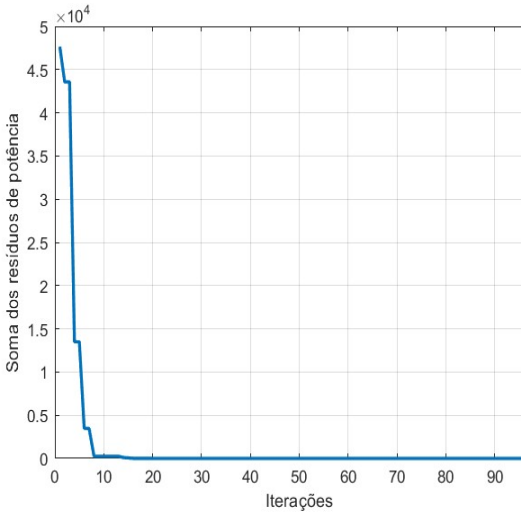
$P_{esp} - Potência\ ativa\ trifásica\ calculada\ no\ estator\ do\ DFIG$

$Q_{esp} - Potência\ reativa\ trifásica\ calculada\ no\ estator\ do\ DFIG$

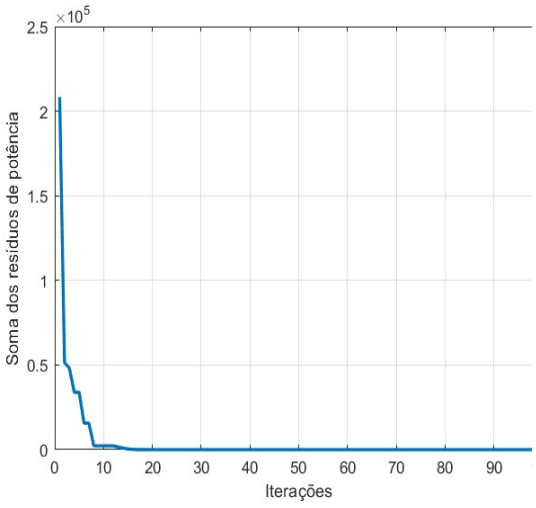
abs – Valor absoluto da diferença

3. RESULTADOS

Os dados simulados no *ATP-EMTP* e *MATLAB*, através das equações mencionadas em modo supersíncrono com funcionamento da máquina em regime permanente podem ser vistos nas imagens e quadros abaixo.



(a)



(b)

 DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325.v7n1a14128.2025

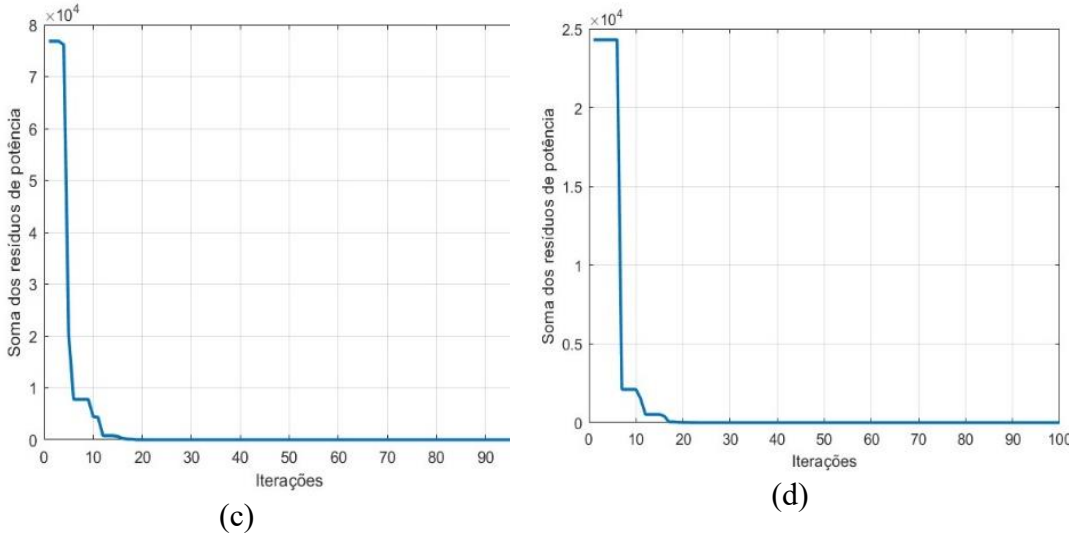


FIGURA 4. Convergência da PSO no modo supersíncrono para valores de potência no estator de (a) 10MW; (b) 15MW; (c) 20MW e (d) 30MW (Autoria própria)

Os gráficos das curvas de aprendizagem da nuvem de partículas – Figura 4, erros a, b, c e d mostram erros muito baixos e próximos de zero, indicando que a nuvem de partículas convergiu para a solução, ou seja, para uma tensão do rotor que traduza em determinadas potências ativas obtidas no estator.

A posição mostrada como *best solution* no *MATLAB* será a fase e o ângulo da tensão do rotor no circuito simulado no ATP. Logo, na Figura 5 são mostrados os valores de PS e QS simulados no *ATP-EMTP*. O fator de potência nas simulações é unitário.

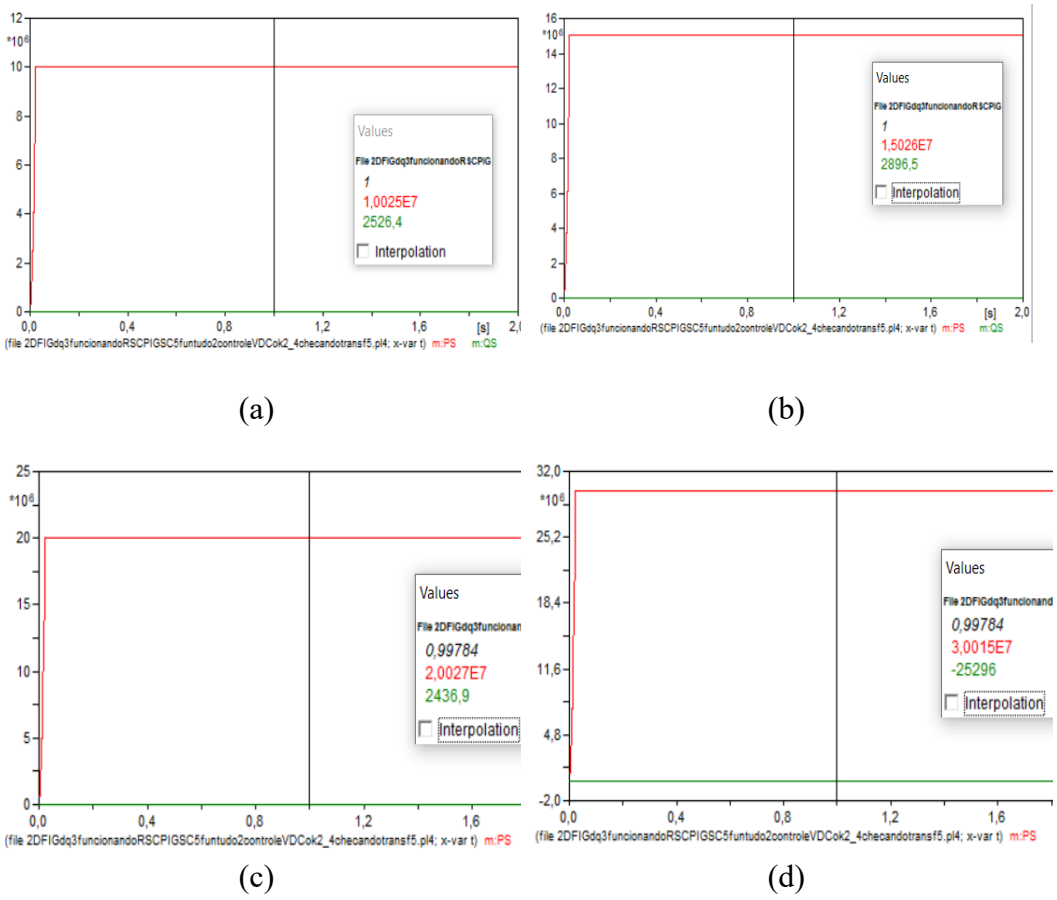


FIGURA 5. Dados de simulação no ATP do DFIG no modo supersíncrono para valores de potência no estator de (a) 10MW; (b) 15MW; (c) 20MW e (d) 30MW (Autoria própria)

De acordo com a Figura 5 para valores de VS conforme posições do resultado da *PSO*, a potência no estator satisfez as potências implementadas no ATP. A tabela 1 mostra os resultados dos valores obtidos no *MATLAB* e simulados no *ATP-EMTP* no modo supersíncrono, com os respectivos erros.

TABELA 1. Parâmetros do DFIG modelado no modo supersíncrono (Autoria propria)

Variável	**Valor Teórico**	**Valor obtido no *ATP-EMTP***	**Erro (%) = (*ATP-EMTP/MATLAB*)**
$P_{S\ 10MW}$	10 MW	10,025 MW	0,25%
$P_{S\ 15MW}$	15 MW	15,026 MW	0,17%
$P_{S\ 20MW}$	20 MW	20,027 MW	0,13%
$P_{S\ 30MW}$	30 MW	30,015 MW	0,05%

As mesmas simulações foram feitas com o DFIG no modo subsíncrono (escorregamento = 10%). Os erros obtidos também foram pequenos. Devido a similaridade dos resultados, apresenta-se aqui apenas a versão com o modo de operação supersíncrono.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho abordou o desenvolvimento e simulação de um sistema de geração eólica conectado a uma rede elétrica com tensão de 22kV composta por duas linhas de transmissão, equipado com gerador de indução duplamente alimentado (*DFIG*). O controle da máquina, em vez de conectado entre a rede e o rotor, nessa configuração, funciona sem conversor eletrônico, na qual a tensão no rotor controla a potência do estator. Para isso, foi utilizado o algoritmo de Otimização por Nuvem de Partículas (*PSO*) e *Ladder Iterative Technique* (*LIT*) para determinar as tensões do rotor para controlar a potência no estator do *DFIG*. Estas duas técnicas serviram de ferramentas para determinar a tensão do rotor para injetar uma determinada potência no sistema de potência utilizado.

Primeiramente foram apresentados os fundamentos do método de otimização por nuvem de partículas clássico, seguido de sua adaptação para solução do problema do fluxo de carga em sistemas de potência. Por meio de estudos de casos analisados, foi possível verificar que os algoritmos desenvolvidos foram capazes de obter soluções ótimas para os problemas propostos com precisão aceitável.

Posteriormente, foi realizada uma análise de sensibilidade do sistema de potência com o *DFIG* com o objetivo de determinar como as modificações na tensão do rotor influência na potência de saída do *DFIG*. Para este propósito, o valor da amplitude e ângulo da tensão no rotor conforme calculado pela PSO no *MATLAB* foi utilizado para verificação na modelagem do *DFIG* no ATPDraw nos modos subsíncrono e supersíncrono. Para cada um desses novos valores de VS, a potência ativa e reativa de saída do *DFIG* foi calculada com o *ATP-EMTP*. Esses valores foram comparados com os valores teóricos iniciais e os erros percentuais foram calculados. Os resultados apresentados mostraram que para valores altos de potência no estator no modo supersíncrono, o erro é menor, tornando os valores teóricos mais próximos dos valores simulados no *ATP-EMTP*.

Com isso, é importante ressaltar que a *PSO* representa uma técnica de otimização rápida e robusta, capaz de resolver uma variedade de problemas complexos, incluindo aqueles de natureza não-linear, não diferenciável e até mesmo multi-objetivo. Além disso, suas vantagens principais incluem sua facilidade de implementação computacional, exigindo apenas poucos parâmetros e demonstrando rápida convergência. No entanto, é preciso considerar suas desvantagens, como a baixa convergência em espaços de alta dimensão e uma notável sensibilidade aos parâmetros de execução. Por conseguinte, a funcionalidade do *ATP-EMTP* e *MATLAB* para a simulação de um *DFIG* foi comprovada e se mostrou indispensável para entendimento do funcionamento das máquinas de turbinas eólicas, tornando possíveis diversos estudos.

REFERÊNCIAS

[1] KERSTING, W. H. Distribution system modeling and analysis. 5 ed. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press, 2022.

[2] SHI, Y. Particle Swarm Optimization. IEEE Connections - Neutral Network Society. Kokomo, IN, EUA, 2004.
[3] KENNEDY, J.; EBERHART, R. Particle swarm optimization. Proceedings of the In-ternational Conference on Neural Networks. Australia IEEE, v. 1948, 1995.
[4] CORDEIRO, Z. J. M. J. Um Algoritmo de Nuvem de Partículas para Combinação de Classificadores em Aprendizado Multi-Visão. Dissertação (mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011.
[5] NABAB, M. Particle Swarm Optimization: Algorithm and its Codes in *MATLAB*. ResearchGate 2016:8–12. DOI: https://doi.org/10.13140/rg.2.1.4985.3206
[6] MARCHESAN, A. C., MARCONATO, G. V., COSTA, L. M. A., GALLAS, M., FERRI, R. C. B., & CARDOSO, G. Performance analysis of forward/backward sweep power flow methods for radial distribution systems. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE). 2018.
[7] GUIDI-VENERDINI, G. D., MOMBELLO E. Initialization of the DFIG Machine for Electromagnetic Transients Calculation. IEEE Latin America Transactions, vol. 16, no. 2, pp. 497-504, Feb. 2018.
[8] WAKILEH, G. J. Power System Harmonics Fundamentals, Analysis and Filter Design, Springer, 2001.

Universidade Federal Rural do Semi-árido
Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica
ISSN https://doi.org/10.21708/issn27635325

Artigo

Interface gráfica para simulação da perda por reflexão de materiais absorvedores de radiação eletromagnética.

Divani Barbosa Gavinier[1], Lucas Barbosa Nascimento[1,2], Glauber Rogério Lanziloti Alves[1,2], Braulio Haruo Kondo Lopes[2], Jorge Tadao Matsushima[3], Maurício Ribeiro Baldan[2]

[1] Centro Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de Taubaté, Taubaté/SP – Brasil; divani.gavinier@fatec.sp.gov.br
[2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos/SP – Brasil
[3] Centro Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, São José dos Campos/SP – Brasil

Recebido: 14/05/2025;
Aceito: 07/07/2025;
Publicado: dia/mês/ano.

Resumo: O parâmetro de perda por reflexão dos Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (MARE) é de grande interesse científico, tanto do ponto de vista de medidas de desempenho quanto de aplicações práticas em diversas áreas como telecomunicações, ciência de materiais, saúde, segurança militar e de defesa. Esse parâmetro é uma medida quantitativa que descreve a capacidade do material de atenuar a onda incidente. Em laboratório, sua determinação envolve a obtenção de dados do MARE por meio de um equipamento denominado Analisador de Rede Vetorial (VNA), a partir dos quais a perda por reflexão é calculada. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma interface gráfica na internet (GUI *web*) para apoiar os pesquisadores no cálculo e simulação da perda por reflexão dos materiais analisados pelo VNA. A interface desenvolvida oferece praticidade, possibilita a rápida simulação dos resultados e facilita a análise por meio de gráficos interativos e dinâmicos. Além disso, sua simplicidade de uso proporciona uma experiência intuitiva, tornando o processo mais acessível aos pesquisadores envolvidos na fabricação de MARE. A validação dos resultados obtidos pela interface gráfica é realizada por meio do *software* comercial FEKO, garantindo a precisão e a confiabilidade das análises conduzidas pelo sistema proposto.

Palavras-chave: MARE; VNA"; "perda por reflexão".

Abstract: The reflection loss parameter of Electromagnetic (EM) absorbing materials is of great scientific interest, both for assessing performance and for practical applications in areas such as telecommunications, materials science, healthcare, and military and defense security. This parameter provides a quantitative measure of a material's ability to attenuate incident electromagnetic waves. In laboratory settings, this parameter is determined using a Vector Network Analyzer (VNA), which collects the necessary data to calculate reflection loss. This study aims to develop a web-based Graphical User Interface (GUI) to assist researchers in calculating and simulating the reflection loss of materials analyzed with the VNA. The development interface offers convenience, enables rapid simulations, and facilitates data interpretation through interactive and dynamic graphs. Furthermore, its user-friendly design provides an intuitive experience, making the process more accessible to researchers involved in the development of EM absorbing materials. The results obtained through the GUI are validated using the commercial software FEKO, ensuring accuracy and reliability in the analyses performed by the proposed system.

Key-words: EM; VNA; reflection loss.

1. INTRODUÇÃO

Os Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (MARE) desempenham um papel crucial em uma variedade de aplicações científicas e tecnológicas [1-5], sendo o cálculo do parâmetro de perda por reflexão um aspecto central na avaliação de seu desempenho. Este parâmetro quantifica a radiação eletromagnética refletida por um material quando uma onda eletromagnética incide sobre sua superfície. Geralmente expresso em decibéis (dB), ele indica a eficiência do material em atenuar a onda incidente, quanto mais negativa for o valor de perda por reflexão, maior será a absorção da radiação pelo material, o que pode ser desejável ou não,

dependendo da aplicação. Como por exemplo, esse mecanismo é explorado de forma diversificada: Fionov et al. [2] usou para otimizar compósitos poliméricos com propriedades dielétricas e magnéticas para reduzir reflexões em aplicações de compatibilidade eletromagnética; Gutierrez et al. [3] controlaram a perda por reflexão em filmes de grafeno-cobre ajustando a condutividade; Michaels [4] abordou a redução da reflexão em telecomunições para mitigar riscos à saúde; Ananth et al. [5] compararam a eficiência da absorção de micro-ondas de materiais à base de RGO (óxido de grafeno reduzido) e GNP (grafeno nanoplaquetas), variando a espessura; Lopes et al. [6] desenvolveram compósitos híbridos (nanotubos de carbono/ferrita/ferrocarbonila) para otimizar a reflexão e absorção na banda X; Ma et al. [7] projetaram estruturas 3D de Co_3O_4-grafeno com porosidade para induzir múltiplas reflexões internas; e Xu et al. [8] modificaram a morfologia de híbridos grafeno-Ni visando otimizar a relação entre reflexão e absorção. Esses estudos ilustram como a perda por reflexão pode ser ajustada conforme a necessidade de aplicação, seja para blindagem eletromagnética, tecnologias *stealth* ou proteção em telecomunicações [1].

A análise da perda por reflexão de MARE requer o uso de um analisador de rede vetorial (conhecido pela sigla VNA), amplamente empregado em ambientes laboratoriais para obter os valores de permissividade elétrica e permeabilidade magnética dos materiais em função da frequência da onda radiada. No entanto, seu cálculo envolve operações complexas, com o uso de números imaginários e funções hiperbólicas, sendo frequentemente realizado manualmente ou com auxílio de *softwares* comerciais.

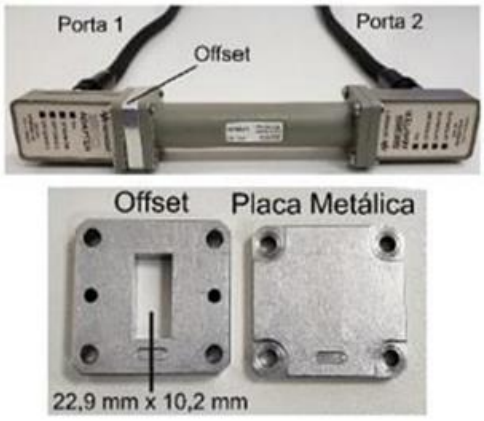
Este trabalho propõe facilitar esse processo de cálculo otimizando a interpretação dos dados e acelerando o desenvolvimento de materiais, ao mesmo tempo em que aumenta a precisão e a eficiência das análises. A automatização dessas etapas permite que os pesquisadores concentrem seus esforços na avaliação do desempenho e na aplicação prática dos MARE, ou seja, a simplificação desses processos pode acelerar o ciclo de testes e inovações, promovendo avanços significativos em tecnologias aplicadas às telecomunicações, à segurança e à saúde. Com esse objetivo, o presente trabalho propõe uma interface gráfica *web* que torna mais acessível e interativo o cálculo e a simulação da perda por reflexão em MARE. A plataforma permite que os pesquisadores visualizem os resultados, de forma interativa, em função da espessura e da frequência de forma gráfica, interativa e dinâmica. Além disso, os resultados obtidos pela interface foram validados com o *software* comercial FEKO (Altair), assegurando sua precisão e confiabilidade.

2. Materiais e métodos

2.1. Analisador de Rede Vetorial

Um analisador de rede vetorial (VNA, do inglês *Vector Network Analyzer*), é um equipamento usado para medir as propriedades de redes de radiofrequência e micro-ondas. Neste trabalho, foi utilizado o modelo N5232A PNA-L da empresa *Keysight Technologies* acoplado ao guia de onda retangular WR 90, como apresentado na Figura 1. O VNA é essencial para a caracterização e os testes de materiais que compõem antenas, filtros, amplificadores e circuitos de alta frequência. Por meio do VNA, obtêm-se as medidas de parâmetros como a magnitude e a fase das ondas refletidas e transmitidas, permitindo uma análise detalhada do desempenho e do comportamento dos dispositivos sob teste. Este equipamento é amplamente utilizado nas indústrias de telecomunicações, defesa, eletrônica e pesquisa científica. A Figura 1(b) apresenta duas imagens: a primeira mostra o VNA conectado aos cabos transmissores e ao guia de onda retangular, destacando o local onde se encontra o *offset* (porta amostra); a segunda apresenta uma vista frontal da porta amostra, indicando onde posicionar o material a ser analisado, com as devidas dimensões, bem como a placa metálica que fica posicionada atrás da amostra.

(a)



(b)

FIGURA 1. (a) Fotografia do equipamento VNA. (b) Fotografia da vista frontal do porta amostra (*Offset*) e da placa metálica utilizada para medida (autoria própria).

A metodologia de análise consiste em posicionar uma placa metálica atrás da amostra, com a função de refletir a onda eletromagnética incidente. Nessa configuração, o equipamento quantifica, por meio do parâmetro de espalhamento S_{11}, a razão entre a amplitude da onda refletida e da onda incidente na porta 1 do VNA. A magnitude de S_{11} está diretamente relacionada às propriedades eletromagnéticas do material analisado, especificamente à sua permissividade elétrica e permeabilidade magnética.

Tais propriedades eletromagnéticas dos materiais, permissividade elétrica e a permeabilidade magnética, são dependentes da frequência da onda incidente e podem ser determinadas experimentalmente por meio do VNA. Essas grandezas fundamentais descrevem o comportamento elétrico e magnético dos materiais, expressando o grau de polarização e magnetização induzida em resposta a um campo eletromagnético aplicado. A permissividade elétrica expressa a capacidade do material armazenar energia elétrica sob a ação de um campo elétrico aplicado, enquanto a permeabilidade magnética indica a facilidade com que o material conduz linhas de fluxo magnético em seu interior. Ambas as propriedades incorporam efeitos capacitivos/indutivos e dissipativos que são fundamentais para o cálculo da perda por reflexão, sendo determinantes na avaliação do desempenho eletromagnético de materiais aplicados em sistemas de alta frequência.

2.2. Cálculo da Perda por Reflexão

A perda por reflexão, expressa em decibéis (dB) e denotada por RL (do inglês *Reflection Loss*), é calculada conforme a Equação (1) e constitui uma métrica amplamente empregada nas áreas de engenharia de materiais e eletromagnetismo para avaliar a capacidade de absorção de ondas eletromagnéticas por determinados materiais. Esse parâmetro, fundamentado na teoria das linhas de transmissão, quantifica o desempenho do material em termos de atenuação do sinal incidente, promovida pela redução da reflexão [9,10]. Na equação considerada, Z representa a impedância do meio material, enquanto Z_0 corresponde à impedância intrínseca do cabo empregado nas medições. O valor de Z é determinado pela Equação (2), e neste estudo, adota-se $Z_0 = 50$ Ohms, conforme especificação do equipamento VNA utilizado. Valores de RL mais negativos indicam uma menor reflexão, ou seja, uma maior absorção da onda incidente, característica desejável em materiais projetados para aplicações de absorção eletromagnética. Assim, no desenvolvimento do material MARE, busca-se a minimização da RL, ao longo da faixa de frequência de interesse, maximizando, desse modo, a eficiência de absorção.

$$RL(dB) = 20\ log_{10}\left|\frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}\right| \tag{1}$$

onde:

$$Z = Z_0\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}\ tanh\left[j\left(\frac{2\pi f d}{c}\right)\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}\right] \tag{2}$$

Na Equação (2), c denota a velocidade da luz no vácuo, enquanto *d* representa a espessura da amostra analisada. Os parâmetros *f*, μ_r e ε_r são obtidos por meio de medições realizadas com o VNA, correspondem, respectivamente, a frequência da onda incidente, à permeabilidade relativa e à permissividade relativa do material. A permeabilidade relativa (μ_r) e a permissividade relativa (ε_r) apresentam componentes reais e imaginários, conforme evidenciado nas Equações (3) e (4).

$$\mu_r = \mu_r' - j\,\mu_r'' \tag{3}$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r' - j\,\varepsilon_r'' \tag{4}$$

Nessas expressões, μ_r' e ε_r' denotam as componentes reais da permeabilidade magnética e da permissividade elétrica, respectivamente, enquanto μ_r'' e ε_r'' representam suas correspondentes partes imaginárias. O intervalo de frequência de operação do analisador do VNA é previamente definido pelo pesquisador, e, a partir desse intervalo, o equipamento determina os valores de ε_r', ε_r'', μ_r' e μ_r'' em função da frequência da onda eletromagnética incidente sobre a amostra do MARE em análise.

2.3. Interface Gráfica

Uma interface gráfica (*Graphical User Interface* – GUI) é um sistema visual que permite a interação entre o usuário e o computador por meio de menus, campos de entrada, botões e gráficos, eliminando a necessidade de comandos textuais. Neste trabalho, foi desenvolvida uma GUI *web*, programada em HTML, destinada ao processamento dos arquivos de saída do VNA. Esses arquivos apresentam os dados organizadas em uma tabela composta por 1601 linhas e 5 colunas, contendo os valores de frequência e as componentes real e imaginária da permissividade elétrica e permeabilidade magnética.

O núcleo de processamento foi implementado em Python, responsável pelos cálculos da Equação (1). A escolha dessa linguagem de programação fundamentou-se na elevada eficiência das bibliotecas NumPy, para operações envolvendo números complexos e funções hiperbólicas, e Matplotlib, para a geração de visualizações gráficas dos resultados. A Figura 2 apresenta o diagrama de sequência com *frontend* HMTL e *backend* Python. O usuário faz o upload de um arquivo CSV (1601×5), que é enviado ao *backend* programado em Python via Flask. O processamento dos dados é realizado com NumPy e os gráficos são gerados com Matplotlib e retornados ao *frontend* em formato Base64. Após visualização, o usuário pode baixar os dados em arquivo TXT.

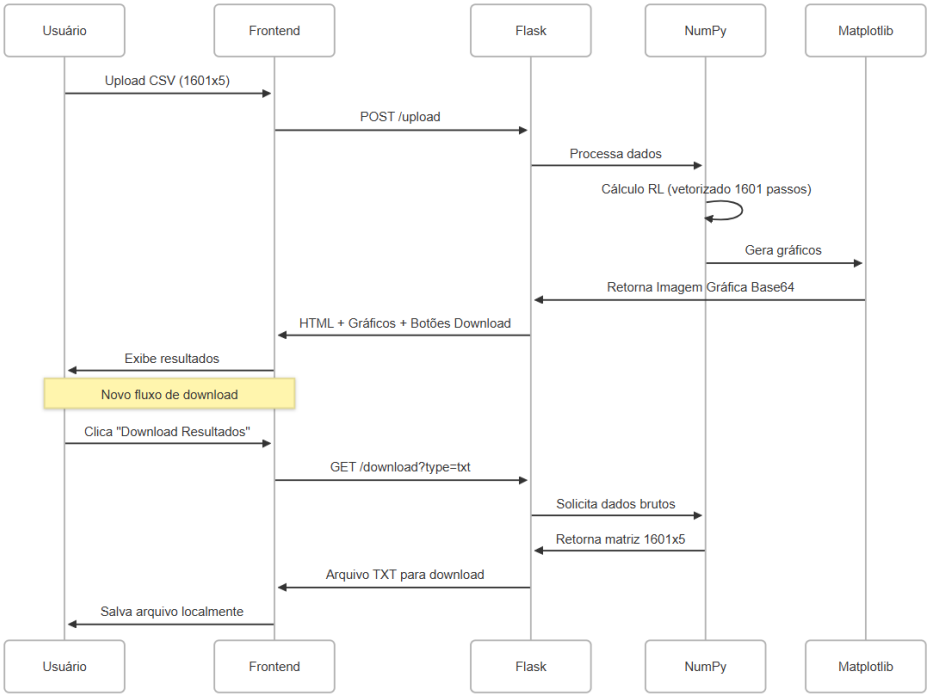


FIGURA 2. Diagrama de sequência do fluxo de interação entre o usuário, interface *web* (*frontend*), servidor Flask e as bibliotecas NumPy e Matplotlib do Python (autoria própria).

A aplicação *web* está disponível em https://reflectionloss.pythonanywhere.com/ [11], sob a denominação "Analisador de Amostras VNA – Simulador do Parâmetro S_{11} em modo TEM". O sistema é multiplataforma, acessível via navegadores com conexão à internet. O design minimalista e a interface intuitiva foram pensados para atender especialistas quanto pesquisadores de áreas afins.

A ferramenta integra recursos de análise de propriedades eletromagnéticas, processamento automatizado de dados experimentais, visualização gráfica, simulação e a comparação em uma única plataforma acessível. Esta abordagem substitui metodologias fragmentados por uma solução unificada, aliando precisão, eficiência e facilidade de uso.

3. RESULTADOS

3.1. Analisador de Amostras do VNA

A aplicação desenvolvida, nomeada como "Analisador de Amostras do VNA", permite simular a perda por reflexão de MARE com base nos dados obtidos experimentalmente via VNA. Ao acessar a interface *web*, o usuário é direcionado a uma página simples e intuitiva. A Figura 3 apresenta a tela inicial da aplicação. a tela inicial é estruturada com botões que permitem o acesso às funcionalidades propostas: análise de amostras de uma camada e geração de arquivo no formato XML. O arquivo XML gerado é empregado como entrada de dados no *software* comercial FEKO. Ao selecionar a funcionalidade de análise de uma camada, é apresentada a interface mostrada na Figura 4, na qual o usuário pode selecionar o arquivo de entrada desejado e, em seguida, acionar o comando para o envio do arquivo.

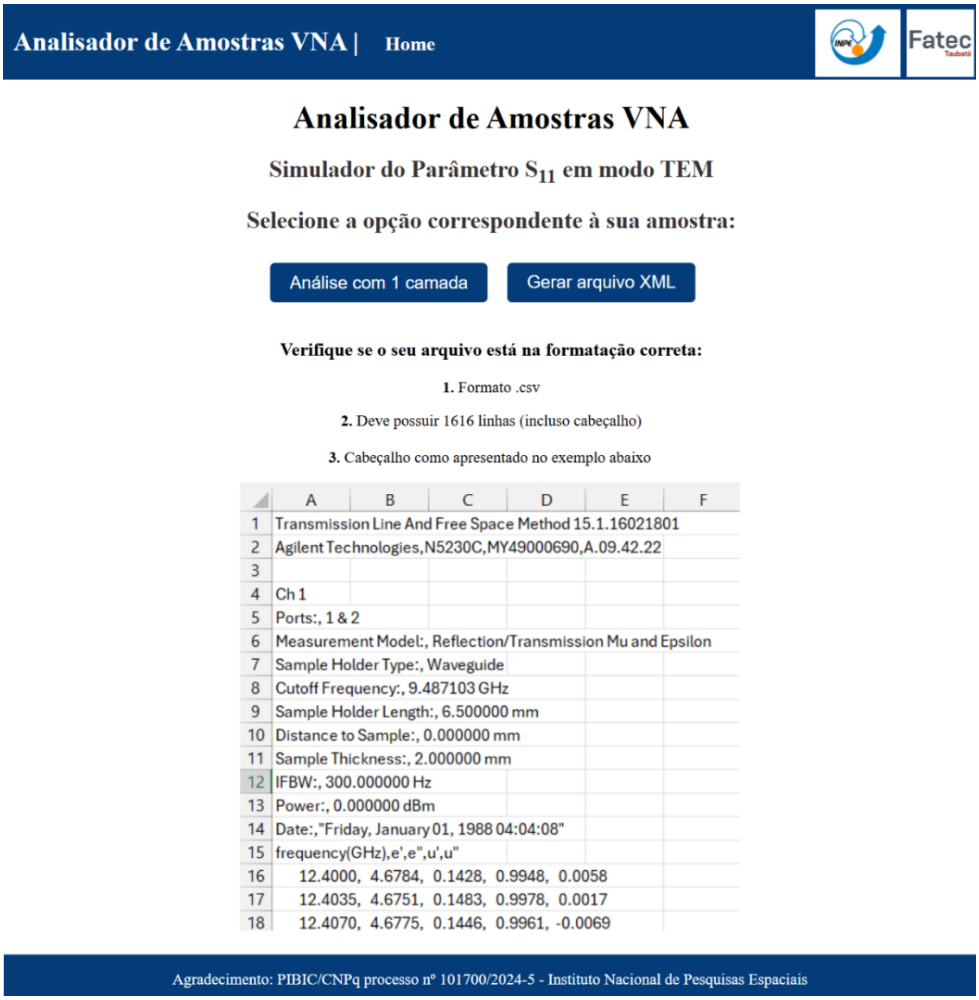


FIGURA 3. Interface da página principal do site online (autoria própria).

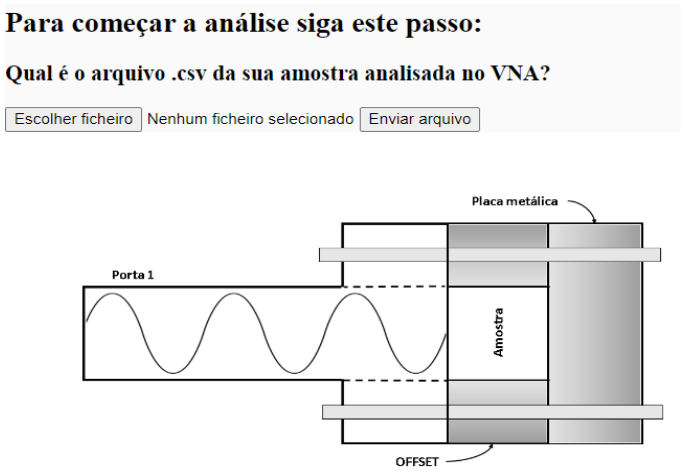


FIGURA 4. Página de carregamento do arquivo a ser analisado (autoria própria).

Após o envio do arquivo, o sistema redireciona o pesquisador para a interface apresentada na Figura 5, a qual exibe um menu opções organizados em cinco etapas. A primeira corresponde à verificação das informações do arquivo submetido, permitindo a conferência quanto a compatibilidade com a amostra a ser analisada. Para fins de demonstração, foi utilizado neste estudo o arquivo de saída do VNA referente a uma amostra de MARE composta por 70% em massa de ferrocarbolina dispersa em uma matriz de silicone, com espessura total de 2

mm, conforme descrito nas referências [6, 12]. O material referido foi desenvolvido com o objetivo de mitigar interferências eletromagnéticas em sistemas embarcados em satélites. A caracterização eletromagnética da amostra foi conduzida por meio do VNA na faixa de 8,2 a 12,4 GHz, correspondente à banda X, à qual é amplamente empregada em aplicações de radar para satélites. A varredura de frequência foi configurada com 1601 pontos de medição, resultando em uma resolução de 2,56 MHz entre os pontos, o que possibilita uma análise de alta precisão do desempenho do material ao longo da faixa de frequência de interesse.

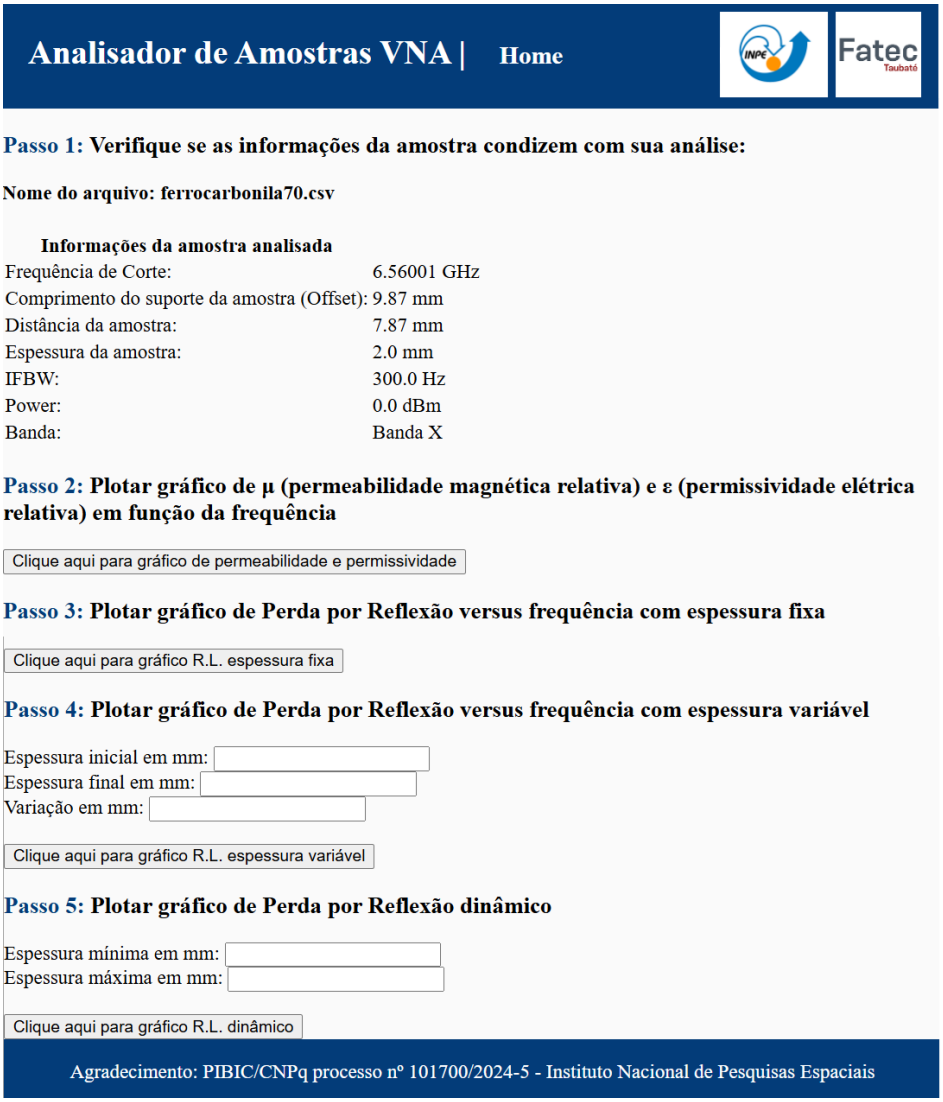


FIGURA 5. Página de apresentação das informações da amostra analisada e dos botões que permitem quatro diferentes tipos de plotagens gráficas (autoria própria).

O segundo procedimento consiste na representação gráfica dos parâmetros de permeabilidade magnética e permissividade elétrica, com a separação de suas componentes real e imaginária, conforme obtidas experimentalmente pelo VNA e apresentadas na interface ilustrada na Figura 6. Esta etapa é crucial, pois permite a análise crítica da variação dos parâmetros em função da frequência, favorecendo a detecção precoce de anomalias ou desvios que possam indicar falhas no processo de aquisição de dados. A visualização gráfica, portanto, configura-se como uma ferramenta indispensável para a verificação da consistência interna dos resultados experimentais, orientando o pesquisador na decisão de prosseguir com o processamento ou repetir as medições. No presente estudo, os parâmetros extraídos revelaram-se consistentes com os valores reportados na literatura para amostras de ferrocarbonila [6, 12], o que corrobora a confiabilidade da metodologia empregada.

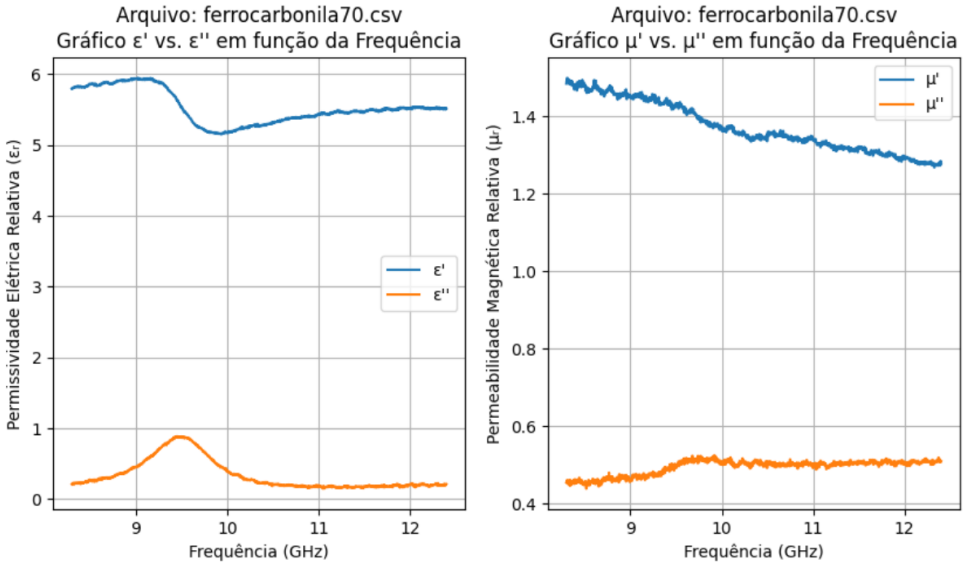


FIGURA 6. Tela de plotagem gráfica da permissividade elétrica e permissividade magnética em função da frequência (autoria própria).

O terceiro procedimento consiste na plotagem gráfica da perda por reflexão, calculada pela Equação (1), com base nos dados fornecidos pelo arquivo de entrada, por meio da interface exibida na Figura 7. Além da geração do gráfico, a interface disponibiliza um botão para a exportação dos resultados, permitindo a criação de um arquivo no formato .txt, contendo duas colunas: a primeira correspondente à frequência e a segunda à perda por reflexão, expressos em decibéis (dB). Essa funcionalidade facilita o uso posterior dos dados em análises complementares, conforme as necessidades do pesquisador.

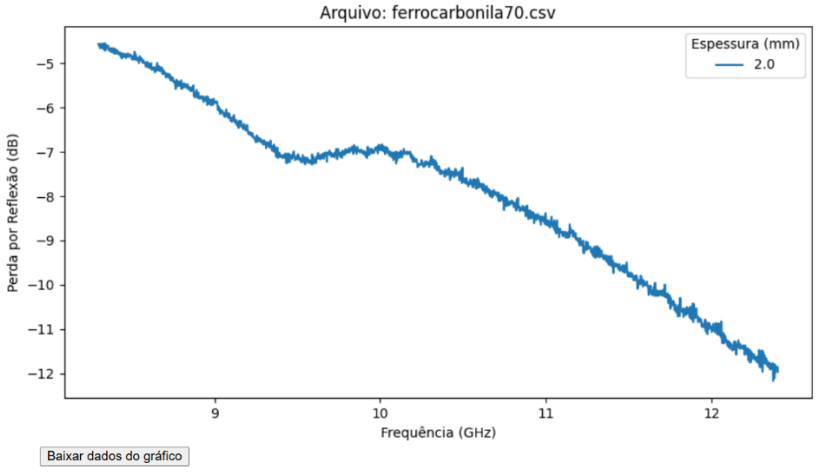


FIGURA 7. Tela de plotagem gráfica da perda por reflexão calculada (autoria própria).

Uma informação relevante apresentada na tela da Figura 7 é a espessura da amostra utilizada no cálculo. Neste caso, o valor de RL foi calculado considerando uma espessura de 2 mm, correspondente à espessura real da amostra de ferrocarbonila analisada. Em estudos envolvendo MARE, é prática comum empregar a Equação (1) para o cálculo do RL e ajustar a espessura do material (parâmetro d) a fim de determinar a espessura ideal do material [1, 2, 5, 7, 8, 13-15]. Tal prática se justifica pelo fato de que a espessura está diretamente envolvida no argumento da função tangente hiperbólica, impactando significativamente o valor de impedância de entrada Z e, por consequência a RL.

A variação do parâmetro *d* permite o ajuste da impedância de entrada do material para que esta se aproxime da impedância característica do meio externo (Z_0), minimizando, assim, a reflexão da onda incidente. No contexto de um MARE, esse ajuste possibilita que a onda eletromagnética penetre no material com reflexão mínima, sendo preferencialmente absorvida em seu interior, o que resulta na diminuição do retorno da energia eletromagnética ao meio original.

Além disso, a espessura da amostra influencia diretamente a fase da onda eletromagnética no interior do material. Durante a propagação, parte da energia pode ser refletida na interface oposta, neste caso, a placa

metálica posicionada atrás da amostra, resultando em interferências construtivas ou destrutivas. Por meio do ajuste da espessura, torna-se possível alcançar uma condição de cancelamento da onda, na qual as reflexões se anulam. Assim, ao determinar a espessura ideal, o pesquisador pode otimizar o desempenho do material conforme a aplicação desejada, multiplicando essa espessura por um número inteiro ímpar (n = 1, 3, 5, ...), conforme previsto pela teoria do cancelamento por um quarto de onda [9, 10].

O quarto passo do procedimento consiste na geração de um gráfico que relaciona a perda por reflexão com a espessura da amostra, permitindo ao pesquisador simular diferentes configurações. A aplicação desenvolvida disponibiliza três campos de entrada: definição da espessura inicial, espessura final e o passo de variação, todos expressos em mm. Após o preenchimento desses campos, o comando "Clique aqui para gráfico RL espessura variável" pode ser acionado. Considerando, por exemplo, uma espessura inicial de 1 mm, uma espessura final 5 mm e um passo de 0,5 mm, obtém-se a visualização ilustrada na Figura 8. Nessa tela, o programa identifica automaticamente qual das curvas plotadas apresenta o menor valor de RL, destacando essa informação de forma clara para o usuário.

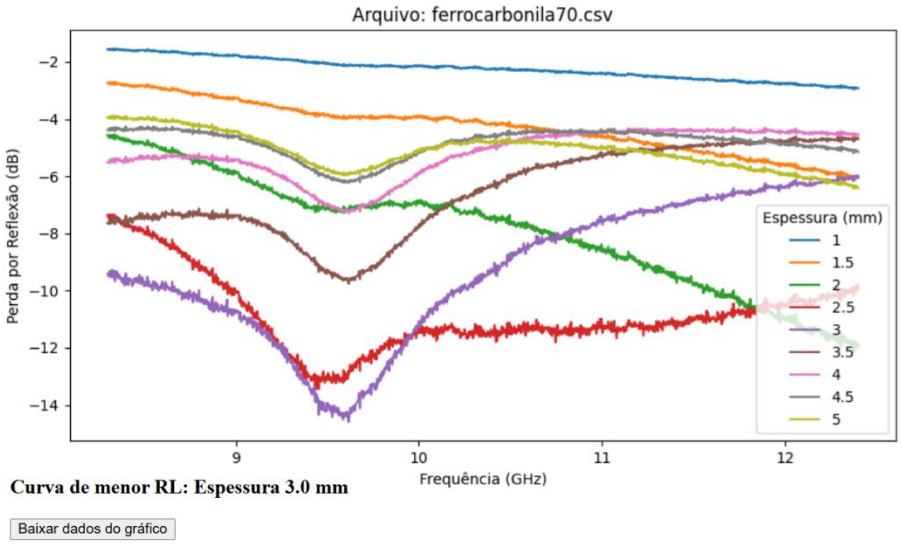


FIGURA 8. Tela de plotagem gráfica da perda por reflexão calculada e simulada para diferentes espessuras do material (autoria própria).

Cada curva da Figura 8 corresponde a uma espessura específica, variando de 1 mm a 5 mm, conforme indicado na legenda à direita. Como discutido previamente, quanto mais negativo for o valor de RL, maior será a eficiência do material na absorção da radiação eletromagnética incidente. Assim, a curva de maior interesse é àquela que exibe o menor valor de RL, evidenciado por um vale mais acentuado no gráfico.

Na análise dos dados, observa-se que a espessura de 3 mm proporciona o maior índice de absorção, com um valor mínimo de RL em torno de –14 dB em aproximadamente 9,7 GHz. Esse resultado indica que, para essa espessura específica, o material apresenta desempenho superior como absorvedor eletromagnético na Banda X, com máxima eficiência na frequência de 9,7 GHz.

A partir da definição dessa espessura, torna-se viável a confecção de amostras físicas em laboratório, otimizando o número de protótipos necessários e, consequentemente, reduzindo os custos experimentais e o tempo de execução. Adicionalmente, essa abordagem permite avaliar o desempenho das amostras em função da frequência, a largura de banda efetiva e o potencial de absorção, facilitando a seleção de parâmetros adequados ao projeto.

A interface exibida na Figura 8, também disponibiliza um botão para exportação dos dados do gráfico, permitindo ao usuário fazer *download* de diversos arquivos no formato txt. Cada arquivo contêm os valores da frequência versus o RL calculado para cada uma das espessuras selecionadas, além de um arquivo único consolidado com todas as informações representadas graficamente.

Outro aspecto relevante diz respeito ao comportamento do ponto de mínima reflexão (vale de RL), que se desloca para frequências progressivamente mais baixas à medida que a espessura do material aumenta. Esse efeito evidencia a possibilidade de ajuste fino da frequência de operação, definida como aquela em que ocorre máxima absorção, por meio da variação controlada da espessura. Por exemplo, para a espessura de 3 mm, observa-se o valor mínimo de RL em torno de 9,7 GHz. Essa relação pode ser explicada com base na Equação (2), na qual a frequência (f) e a espessura (d) aparecem multiplicadas no argumento da função tangente hiperbólica. Isso implica que a impedância de entrada do material e, consequentemente sua capacidade de absorção, depende diretamente da interação entre esses dois parâmetros. O ajuste de *d* permite, portanto, a

sintonia da frequência de absorção máxima, característica típica de materiais absorvedores que operam com base s em ressonância e efeitos de interferência interna.

Considerando a ampla gama de espessuras que podem ser simuladas, a exibição simultânea de todas as curvas em um único gráfico comprometeria a clareza visual da análise. Para contornar essa limitação, foi desenvolvida uma interface interativa que permite a seleção dinâmica das curvas a serem visualizadas. A Figura 9 ilustra essa funcionalidade, na qual o usuário pode selecionar, por meio de listas suspensas ou botões de controle, quais espessuras deseja exibir. Essa abordagem favorece uma análise direcionada, permitindo comparações específicas entre diferentes configurações, sem sobrecarregar visualmente o ambiente gráfico. Esse recurso é particularmente útil em estudos com alto volume de dados simulados, contribuindo para uma maior eficiência e precisão da interpretação dos resultados.

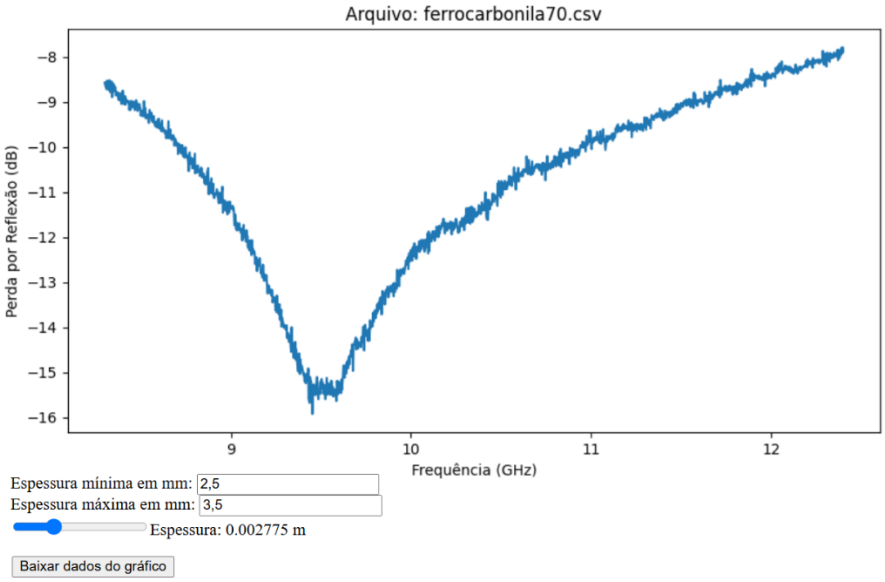


FIGURA 9. Tela de plotagem gráfica dinâmica da perda por reflexão, o botão de ação permite ao pesquisador mudar o valor da espessura somente com um arrastar do mouse (autoria própria).

O quinto e último passo do procedimento consiste na plotagem dinâmica e interativa da RL em função da frequência. Nessa etapa, a interação do pesquisador com os dados é realizada por meio de um controle deslizante, implementado como um botão de rolagem horizontal, o qual permite a variação contínua da espessura do material analisado. Essa funcionalidade viabiliza a visualização em tempo real das alterações na resposta eletromagnética, sem a necessidade de reprocessar ou redesenhar completamente o gráfico a cada ajuste. Adicionalmente, os valores mínimo e máximo da espessura são definidos pelo próprio usuário, conforme os parâmetros experimentais ou de simulação adotados. Assim como nas demais interfaces do sistema, essa também oferece a opção de exportação dos dados visualizados. Essa etapa final da aplicação não apenas favorece a exploração dos resultados simulados, mas também aproxima o ambiente computacional da realidade experimental, fornecendo subsídios para a tomada de decisões técnicas com base em dados simulados de forma eficiente e acessível.

No caso específico da análise da amostra de ferrocarbonila, verificou-se que a menor espessura considerada experimentalmente foi de 3 mm. A partir desse valor de referência, foram realizadas simulações variando a espessura no intervalo de 2,5 e 3,5 mm. A manipulação do controle deslizante permitiu identificar que a menor perda por reflexão ocorreu para uma espessura de aproximadamente 2,77 mm com valor de RL igual a -15,4 dB na frequência de 9,57 GHz. Esse resultado indica que o referido material apresenta desempenho significativo em absorção eletromagnética nessa faixa de frequência, evidenciado seu potencial para aplicações como material absorvedor em dispositivos operando na banca correspondente.

3.2. Comparação Resultados Obtidos com Software FEKO

Com o objetivo de validar os resultados obtidos com o *software* desenvolvido neste trabalho, foi realizada uma comparação com o *software* comercial FEKO (Altair), amplamente reconhecido na comunidade científica pelas suas capacidades robustas de simulação eletromagnética tridimensional. O FEKO é uma ferramenta consagrada em pesquisas avançadas da área, permitindo a modelagem de geometrias complexas e a simulação de uma ampla variedade de fenômenos eletromagnéticos.

Na comparação, adotou-se o mesmo modelo físico das amostras experimentais — uma camada de ferrocarbonila posicionada sobre uma placa metálica de 2,00 mm— conforme ilustrado na Figura 10. Para simular essa condição, foram aplicadas condições de contornos infinitos nos eixos x e y, com a incidência da onda ao longo do eixo z. Foram realizadas duas simulações: a primeira com a espessura real da amostra (2,00 mm), e a segunda com a espessura otimizada pelas simulações (2,77 mm). A Figura 10 apresenta a malha tridimensional gerada no FEKO, destacando a incidência da onda eletromagnética ao longo do eixo z, essencial para o cálculo da perda por reflexão no domínio da frequência.

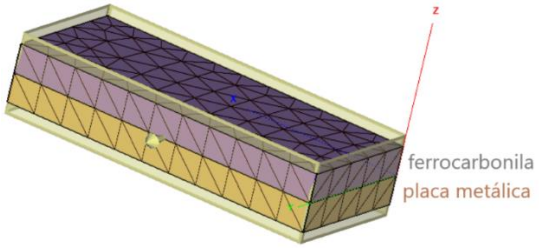


FIGURA 10. Geometria com malha gerada pelo *software* comercial FEKO (autoria própria).

A Figura 11 apresenta os resultados comparativos da perda por reflexão em função da frequência para duas espessuras analisadas: 2,00 mm e 2,77 mm. Os dados evidenciam excelente concordância entre os dados obtidos por meio do software FEKO (representados por marcadores) e aqueles gerados pela ferramenta computacional desenvolvida neste estudo (linhas contínuas).

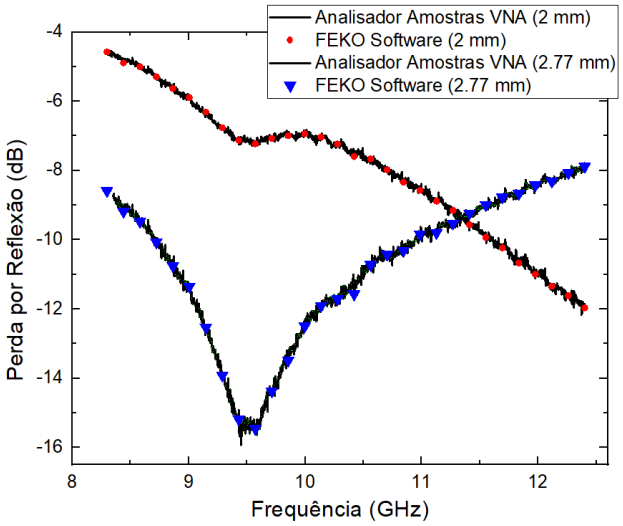


FIGURA 11. Comparação resultados obtidos da perda por reflexão versus a frequência pelo *software* desenvolvido nesse trabalho e *software* comercial FEKO (autoria própria).

Embora o sistema desenvolvido tenha sido direcionado exclusivamente para a simulação da perda por reflexão em função da espessura e da frequência - não realizando cálculos tridimensionais complexos como o FEKO - os resultados demonstram que ele é eficiente, preciso e adequado à análise direcionada de absorvedores de radiação eletromagnética. Dessa forma, a ferramenta pode ser utilizada com confiança no suporte à caracterização e à otimização de materiais, destacando-se ainda pela interface amigável e voltada ao pesquisador experimental.

4. CONCLUSÃO

A interface gráfica (GUI *web*) desenvolvida neste estudo propõe-se como uma alternativa eficiente e acessível para a análise da perda por reflexão em MARE. Por meio da integração entre recursos de simulação computacional com uma interface web de uso intuitivo, a plataforma otimiza o fluxo de análise dos dados provenientes das medições realizadas com analisadores de redes vetoriais, eliminando etapas manuais, minimizando erros operacionais e promovendo a padronização e a visualização dos resultados. Além disso, a ferramenta permite a comparação direta entre diferentes amostras de forma clara e objetiva, contribuindo para o aumento da produtividade e da consistência nas análises experimentais.

A validação da ferramenta foi conduzida por meio da comparação com resultados obtidos utilizando o software comercial FEKO, amplamente reconhecido na comunidade científica por sua robustez em simulações tridimensionais e sua versatilidade em aplicações eletromagnéticas. A elevada concordância observada entre os dados obtidos com o FEKO e aqueles fornecidos pela plataforma desenvolvida confirma sua confiabilidade em estudos da área.

Ao viabilizar o acesso à análise gráfica de dados experimentais, sem a necessidade de licenças de *softwares* proprietários, a plataforma contribui significativamente para a democratização de ferramentas de simulação, permitindo que um número maior de pesquisadores, inclusive em instituições com recursos limitados, conduza estudos avançados. Nesse contexto, espera-se que a interface proposta fortaleça colaborações entre instituições e estimule avanços em áreas estratégicas como telecomunicações, ciência dos materiais, defesa, saúde e segurança.

Conclui-se, portanto, que a GUI *web* representa um avanço relevante na sistematização da análise de perda por reflexão em MARE. Ao aliar técnicas de simulação computacional a uma estrutura de visualização acessível e eficiente, a ferramenta desenvolvida contribui não apenas para a simplificação do tratamento de dados em função da frequência, como também para a ampliação das possibilidades de investigação experimental. Assim, a plataforma configura-se como um recurso promissor para aprimoramento das metodologias de caracterização eletromagnética, com potencial impacto em distintas áreas do conhecimento científico e tecnológico.

AGRADECIMENTOS

Centro Paula Souza pelo projeto RJI, bolsas PIBIC/CNPq números: 158179/2023-4 e 101700/2024-5. A empresa ALTAIR pela possibilidade de emprego do *software* FEKO®.

REFERÊNCIAS

[1] Fionov, A.; Kraev, I.; Yurkov, G.; Solodilov, V.; Zhukov, A.; Surgay, A.; Kuznetsova, I.; Kolesov, V. Radio-Absorbing Materials Based on Polymer Composites and Their Application to Solving the Problems of Electromagnetic Compatibility. *Polymers* 2022, *14*, 3026, 1–59. https://doi.org/10.3390/polym14153026

[2] Elmahaishi, M.F.; Azis, R. S.; Ismail, I.; Muhammad, F. D. A review on electromagnetic microwave absorption properties: their materials and performance. *Journal of Materials Research and Technology* 2022, *20*, 2188-220. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.140

[3] Gutierrez, D.; Doshi, P.; Wong, H.Y.; Nordlund, D.; Gandhiraman, R.P. Printed graphene and its composite with copper for electromagnetic interference shielding applications. *Nanotechnology* 2024, *35*, 135202. https://doi.org/10.1088/1361-6528/ad12e9

[4] Michaels, R.A. Telecommunications, Electromagnetic Fields, and Human Health. *Environmental Claims Journal* 2019, *31*, 2, 93–132. https://doi.org/10.1080/10406026.2019.1603442

[5] Ananth, P.B.; Abhiram, N; Krishna, K.H.; Nisha, M.S. Synthesis of radar absorption material for stealth application. *Materials Today* 2021, *47*, 14, 4872-4878. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.196

[6] Lopes, B.H.K.; Portes, R.C.; Amaral, M.A.J.; Florez-Vergara, D.E.; Gama, A.M.; Silva, V.A.; Quirino, S.F.; Baldan, M.R. X Band electromagnetic property influence of multi-walled carbon nanotube in hybrid MnZn ferrite and carbonyl iron composites. *Journal of Materials Research and Technology* 2020, *9*, 2369–2375. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.068

[7] Ma, J.; Wang, X.; Cao, W.; Han, C.; Yang, H.; Yuan, J.; Cao, M. A facile fabrication and highly tunable microwave absorption of 3D flower-like Co_3O_4-rGO hybrid-architectures. *Journal of Alloys and Compounds* 2018, *339*, 487–498. https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.152

[8] Xu, W.; Wang, G.; Yin, P. Designed fabrication of reduced graphene oxides/Ni hybrids for effective electromagnetic absorption and shielding. *Carbon* 2018, 139, 759–776. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.07.057

[9] Ulaby, F.T. *Eletromagnetismo para Engenheiros*; Bookman: [S.l.], 2006; p. 382. ISBN 978-85-600-3119-1.

[10] Pozar, D.M. *Microwave Engineering*, 4th ed.; John Wiley & Sons: [S.l.], 2011; p. 752. ISBN 978-0-470-63155-3.

[11] Reflection Loss Calculator. *Analisador de Amostras do VNA*. Disponível online: https://reflectionloss.pythonanywhere.com/ (acesso em 14/04/2025).

[12] Lopes, B.H.K. Estudo da capacidade de absorção de onda eletromagnética por particulados de ferrita MnZn e ferrocarbonila dispersos em matriz de borracha de silicone na faixa de frequência referente à Banda X (8,2–12,4 GHz (dissertação), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019. Disponível em: http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/03.05.12.48

[13] Ahlawat, A.; Bala, M.; Nayak, M.K.; Tyag, S. Development of cobalt oxide and titanium carbide based composite for microwave absorption in X-band, *Materials Science and Engineering: B* 2024, *305*, 117447. https://doi.org/10.1016/j.mseb.2024.117447

[14] Han, Y.; Han, M.; Zhao, T.; Zihao, X.; Zou, J.; Liu, X.; Lia, X. Design of morphology-controlled cobalt-based spinel oxides for efficient X-band microwave absorption. *Materials Research Bulletin* 2024, *172*, 112670. https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2023.112670

[15] Yoshikawa, A.; Kasai, H. Optimum design for window layer thickness of GaAIAs-GaAs heteroface solar cell regarding the effect of reflection loss. *J. Appl. Phys.* 1981, *52*, 6. https://doi.org/10.1063/1.329265

Universidade Federal Rural do Semi-árido
Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica
ISSN 2763-5325 | DOI: https://doi.org/10.21708/issn27635325

Artigo

Desenvolvimento de tecnologias alternativas: fogão solar portátil

Emanuele Jordana Florêncio Clemente [1], Jaciara Bizerra de Oliveira [2], Lucas Ely Martins Nascimento [3] , Maria Eduarda Fonseca da Silva [4], Michael Jackson Enéas da Silva [5], Thais Morais de Assis [6], Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella [7]

[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; emanuele.clemente@alunos.ufersa.edu.br
[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; jaciara.oliveira@alunos.ufersa.edu.br
[3] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; lucas.nascimento23404@alunos.ufersa.edu.br
[4] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; maria.silva92307@alunos.ufersa.edu.br
[5] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; michael.silva75494@alunos.ufersa.edu.br
[6] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; thais.assis@alunos.ufersa.edu.br
[7] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; fkv@ufersa.edu.br

Recebido: 23/05/2025
Aceito: 27/05/2025;
Publicado: dia/mês/ano.

Resumo: O fogão solar é uma solução sustentável e acessível para o preparo de alimentos, aproveitando a energia do sol, uma fonte de energia alternativa e renovável. Além de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e lenha, contribui para a preservação ambiental e melhora a qualidade de vida, especialmente em regiões com acesso limitado à outras fontes de energia. Pelo exposto, este artigo tem como objetivo desenvolver e avaliar o desempenho de um protótipo de fogão solar portátil, utilizando materiais de baixo custo e fácil obtenção. A análise dos resultados revela que, embora o fogão solar portátil necessite de um tempo de cocção maior em comparação aos métodos tradicionais como GLP, ele se destaca como uma alternativa sustentável e econômica para o preparo de alimentos. Os resultados demonstram que o fogão solar portátil é uma alternativa viável, sustentável e acessível, destacando seu potencial para reduzir a dependência de fontes de energia tradicionais e beneficiar comunidades com pouca infraestrutura.

Palavras-chave: Tecnologia alternativa; Energia solar térmica; Fogão solar; Portabilidade.

Abstract: The solar cooker is a sustainable and affordable solution for food preparation, using solar energy, an alternative and renewable energy source. In addition to reducing dependence on fossil fuels and firewood, it contributes to environmental preservation and improves quality of life, especially in regions with limited access to other energy sources. Therefore, this article aims to develop and evaluate the performance of a prototype of a portable solar cooker, using low-cost and easily obtainable materials. The analysis of the results reveals that, although the portable solar cooker requires a longer cooking time compared to traditional methods such as LPG, it stands out as a sustainable and economical alternative for food preparation. The results demonstrate that the portable solar cooker is a viable, sustainable and affordable alternative, highlighting its potential to reduce dependence on traditional energy sources and benefit communities with little infrastructure.

Key-words: Alternative technology; Thermal solar energy; Solar cooker; Portability.

1. INTRODUÇÃO

A energia solar é uma fonte de energia limpa, por não gerar poluição ao meio ambiente, além de ser considerada inesgotável [1]. Sabe-se que a mesma é aproveitada pelo homem a muito tempo, e hoje em dia, está sendo cada vez mais utilizada, podendo ser aproveitada de diferentes modos, os mais

utilização são: energia fotovoltaica (para a geração de eletricidade), aquecimento solar de água, secador solar (para desidratação de alimentos) e fogão solar (para a cocção de alimentos).

O uso do gás liquefeito de petróleo (GLP) em fogões é comum no Brasil para o preparo de alimentos, porém, o alto custo representa um desafio para muitas famílias. Assim, é fundamental investir em pesquisas e métodos que ofereçam soluções acessíveis e viáveis para o aproveitamento de energias renováveis, especialmente em áreas distantes dos grandes centros urbanos, onde a população possui menor poder aquisitivo para aquisição de equipamentos do mercado convencional [2].

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um protótipo de fogão solar portátil de baixo custo e fácil confecção. Em seguida, através da obtenção dos resultados, será possível analisar e avaliar a validação do protótipo desenvolvido.

2. FOGÃO SOLAR

Na atualidade há uma grande variedade de tecnologias onde ocorre o aproveitamento da energia solar térmica para diversas finalidades, onde pode-se citar, por ex., os fogões solares, secadores solares, aquecimento solar de água, entre outros [3]. Neste trabalho, o foco principal será a tecnologia do fogão solar.

Como observado na Seção 1, essa tecnologia é uma excelente alternativa aos fogões à lenha e fogões movidos a GLP, proporcionando a diminuição da emissão de gases poluentes, a minimização do desmatamento, a reutilização de materiais descartados e a redução de gastos para o consumidor. Na subseção 2.1, serão apresentados alguns protótipos de fogão solar desenvolvidos em projetos de pesquisa do curso de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus Mossoró/RN.

2.1. Protótipos alternativos desenvolvidos

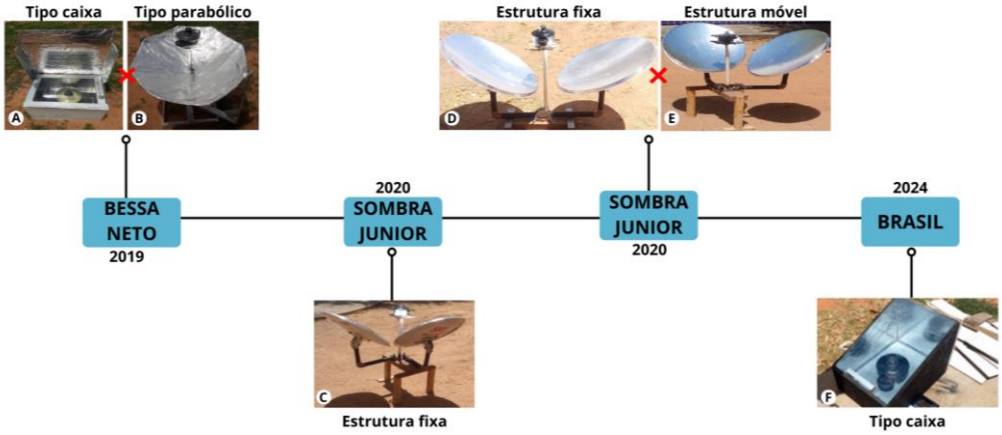


Figura 1: Linha do tempo dos protótipos desenvolvidos.

Fonte: Autoria própria (2024).

2.1.1. Análise comparativa entre um fogão solar do tipo parabólico e fogão solar do tipo Caixa (Bessa Neto, 2019)

[1] Propôs um estudo para avaliar a viabilidade dos fogões solares a partir de uma análise comparativa entre dois modelos distintos: tipo parabólico e tipo caixa. O objetivo principal foi realizar uma comparação no desempenho de ambos no processo de cocção dos alimentos. Desse modo, teve que ser levado em consideração os aspectos de temperatura atingida, a irradiância e o tempo necessário para o cozimento de cada alimento para ambos os modelos.

O Fogão solar do tipo caixa (Figura 1A) foi desenvolvido utilizando apenas materiais recicláveis e de baixo custo, como: papelão, vidro, chapa metálica, material refletor, isopor e cola. Em resumo, sua utilização é adicionar a panela no interior do fogão, onde a radiação solar incide possibilitando a cocção do alimento. Já no fogão do tipo parabólico (Figura 1B), também foram utilizados materiais recicláveis e de baixo custo, como: pedaços de madeira, antena parabólica, tubo, barra de ferro e fitas metálicas.

Seu funcionamento se inicia pelo processo de reflexão dos raios solares que irão ser direcionados e concentrados em um ponto focal no fundo da panela. Desse modo, toda energia que foi concentrada no fundo da panela, sendo boa parte refletida e o restante será absorvida em forma de calor, com isso possibilitando a cocção do alimento. Para realizar a análise comparativa do desempenho entre os equipamentos no processo de cozimento, foram utilizadas duas porções de arroz, ambas pesando cerca de 80 gramas, levando em conta que ficaram expostas a valores próximos de temperatura e irradiação e nas mesmas condições climáticas. O estudo comprovou que o fogão parabólico em dia nebuloso se mostrou menos eficiente. Portanto, mesmo com a nebulosidade a porção de arroz do fogão do tipo caixa foi a que mais se aproximou do ponto de cocção [1].

2.1.2. Fogão solar tipo elíptico móvel: uma tecnologia alternativa para o processo de cocção de alimentos (Sombra Junior, 2020)

O trabalho desenvolvido e posto em prática por [4], teve como objetivo elaborar um protótipo de fogão solar do tipo elíptico móvel (Figura 1C). Essa tecnologia alternativa, que utiliza materiais recicláveis e de baixo custo, surge como maneira promissora para otimizar a cocção dos alimentos.

Na construção do fogão foram utilizados os seguintes materiais: Tubos de ferros, parafusos e barras chatas, eletrodutos e conexões de PVC, sendo todos retirados de restos de sucatas. Seu funcionamento se dá a partir de um concentrador de calor, no qual recebe toda irradiação solar e absorve em uma única região, conhecida como focal, onde irá ser posicionada uma panela, fazendo com que tenha a cocção de alimento.

Para avaliar o funcionamento, foram realizados ensaios com diferentes alimentos. Inicialmente foram utilizados 320 gramas de Batata-doce, no qual seu tempo de cocção foi de aproximadamente 50 minutos. No segundo ensaio, foram utilizados 180 gramas de arroz atingiu o ponto de cocção em torno de 23 minutos. Em seguida, foi elaborado outro ensaio, dessa vez utilizando ovos de galinha, que teve um tempo de cozimento por volta de 20 minutos. Por fim, no último ensaio, foram utilizados 180 gramas de feijão, que alcançou seu ponto de cozimento em 120 minutos, desse modo pode-se comprovar a eficiência do protótipo construído.

2.1.3 Fogão solar parabólico estático vs Fogão solar parabólico móvel (Sombra Junior, 2020)

O artigo desenvolvido por [5] apresenta uma análise comparativa entre dois modelos de fogões solares parabólicos: um estático (Figura 1D), com refletores fixos dispostos em 180°, e um móvel (Figura 1E), dotado de ajustes em três graus de liberdade. A pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho desses dispositivos no cozimento de arroz e batata-doce, considerando variáveis como temperatura, irradiância solar e tempo de cocção. Os resultados indicaram que o modelo móvel apresentou maior eficiência, reduzindo os tempos de preparo em 24% para o arroz e 17% para a batata-doce em comparação ao modelo estático.

Os experimentos evidenciaram a mobilidade dos refletores no desempenho dos fogões. O modelo estático, embora ofereça temperaturas mais uniformes devido à incidência de dois focos simultâneos, apresentou limitações na manutenção da posição ideal em função da variação solar ao longo do dia. Já o modelo móvel, com maior flexibilidade para ajustes, otimizou a concentração dos raios solares, resultando em um processo de cocção mais rápido. Ambos os fogões foram confeccionados com materiais recicláveis, o que reforça a viabilidade econômica e sustentável da proposta.

Assim, o fogão solar móvel é uma solução eficaz e adaptável para regiões com alta incidência solar, como o semiárido nordestino. Além disso, a simplicidade de construção e o uso de materiais reaproveitados destacam o potencial dessa tecnologia como alternativa ao uso de combustíveis convencionais.

2.1.4 Fogão solar tipo caixa: uma alternativa sustentável para a cocção de alimentos (Brasil, 2024)

O projeto apresentado por [6] tem como objetivo comprovar por meio de uma análise o desempenho de um fogão solar portátil do tipo caixa, que foi construído como uma solução sustentável para realizar a cocção de alimentos, destacando sua facilidade de manuseio e portabilidade. Desse modo, além da sua eficiência, vale ressaltar a relação custo benefício do equipamento, que foi construído utilizando materiais recicláveis e de baixo custo.

O fogão do tipo caixa (Figura 1F), tem um princípio de funcionamento que consiste na simulação do efeito estufa, gerado assim por meio da condensação do calor no interior da caixa. Desse modo, será realizada a cocção dos alimentos. No funcionamento, é possível perceber que a irradiação solar é conduzida diretamente para o interior do fogão, se dá a partir do espelho ou refletor, pois atuam como intensificador e direcionador, fazendo assim com que aumente a condensação do calor. Toda irradiação

que é refletida até o interior do fogão é permitida pela superfície transparente da tampa de vidro. Normalmente, nesses tipos de fogões, é necessário ter isopor em seu entorno, pois servirá como um isolante térmico, para que a temperatura fique conservada por um longo período de tempo [6].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente seção mostra o detalhamento do procedimento técnico para a construção do protótipo, contemplando as sete etapas integradas (como mostra a Figura 2), desde a separação dos materiais, a preparação do recipiente, os cortes do isopor, a aplicação da fita adesiva metálica, a confecção da porta de acesso, a montagem das partes e a finalização e ensaios.

Figura 2: Fluxograma da confecção do protótipo.
Fonte: Autoria própria (2024).

3.1 Metodologia e realização dos ensaios

3.1.1 Separação dos materiais

Para a confecção do protótipo, os materiais foram selecionados com base em critérios de sustentabilidade e viabilidade econômica, visando a redução de custos e o aproveitamento de recursos descartáveis.

Sendo assim, optou-se por utilizar um balde de margarina com capacidade de 15Kg (Figura 3A), previamente descartado por uma lanchonete localizada nas dependências da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Este recipiente foi reutilizado e adaptado para servir como a estrutura principal do fogão solar projetado.

Os materiais empregados na construção do protótipo foram selecionados e alguns reutilizados do próprio laboratório onde o experimento foi conduzido, com poucas restrições orçamentárias. Entre os materiais utilizados, destacam-se:

- **Parafusos (Figura 3B)**: Utilizados nos acabamentos e na fixação dos componentes estruturais, garantindo a integridade e durabilidade do protótipo.
- **Folha de isopor de 10 a 12 milímetros (Figura 3C)**: Utilizada como isolante térmico no revestimento interno, visando minimizar a perda de calor e aumentar a eficiência térmica do protótipo
- **Fita metálica (Figura 3D)**: Utilizada para o revestimento interno do protótipo, com o objetivo de melhorar a reflexão e distribuição da radiação solar no interior do fogão.
- **Disco de vidro (Figura 3E)**: Inserido na parte superior do protótipo para permitir a passagem da radiação solar, ao mesmo tempo em que minimiza a dispersão do calor acumulado no interior.

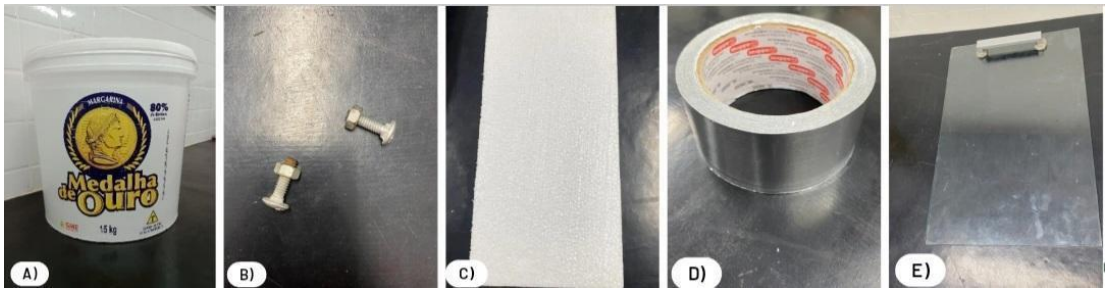


Figura 3: Materiais utilizados.

Fonte: Autoria própria (2024).

3.1.2 Preparação do recipiente

Esta seção trata sobre o processo de concepção e construção de um dispositivo de cocção solar portátil. Primeiramente, procedeu-se à higienização completa do balde utilizado como base para o protótipo, garantindo que estivesse livre de quaisquer contaminantes que pudessem comprometer a integridade do experimento. Em seguida, foram realizadas as marcações necessárias para os cortes, empregando instrumentos de medição para assegurar a precisão.

A primeira linha foi traçada horizontalmente a uma distância de 5 cm da base do balde. Posteriormente, uma linha vertical foi desenhada para dividir o balde ao meio (Figura 4A). A partir dessa linha central, foram feitas marcações verticais adicionais a uma distância de 15 cm para cada lado (Figura 4B), visando o posicionamento exato das subsequentes operações de corte.

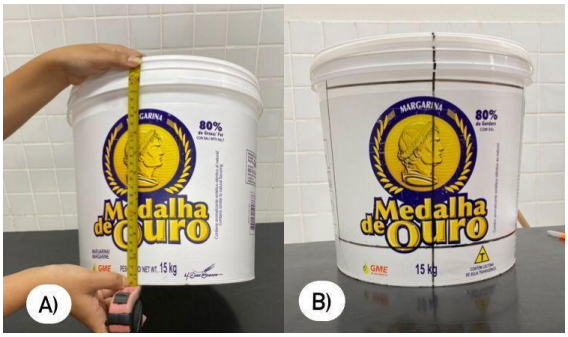


Figura 4: Marcação no recipiente.

Fonte: Autoria própria (2024).

Após a conclusão das marcações, iniciou-se o processo de corte das áreas previamente delimitadas, utilizando uma serra apropriada para garantir a precisão dos cortes. Em seguida, realizou-se um lixamento minucioso das bordas cortadas, visando o acabamento final e a eliminação de quaisquer imperfeições resultantes do processo de corte. Esta etapa foi executada com o auxílio de uma lixa adequada, assegurando que as superfícies fossem suavizadas e preparadas para as fases subsequentes do projeto, como mostra a Figura 5.

Figura 5: Cortes no recipiente

Fonte: Autoria própria (2024).

3.1.3 Cortes no isopor

Nesta etapa foi realizado o corte do isopor destinado ao revestimento interno do recipiente. Inicialmente, efetuou-se a medição precisa (Figura 6A até 6F) da base do balde diretamente sobre o isopor, utilizando instrumentos de medição adequados para garantir a conformidade com as dimensões requeridas. Com as medidas determinadas, procedeu-se ao corte do isopor, assegurando que o material estivesse perfeitamente ajustado às especificações do projeto.

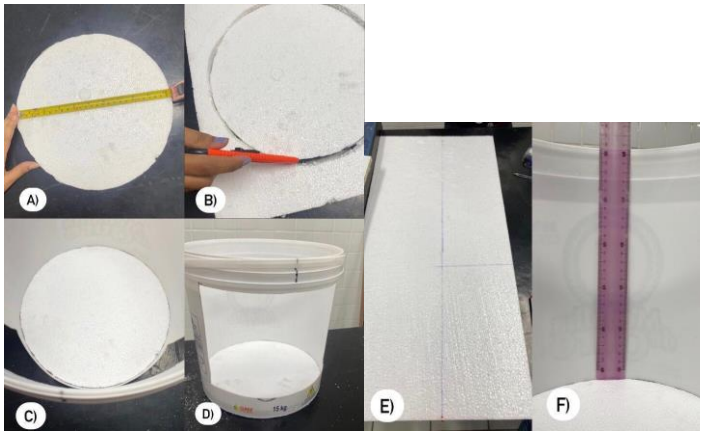


Figura 6: Marcação e cortes do isopor.

Fonte: Autoria própria (2024).

A lateral do protótipo foi revestida com isopor, o qual foi previamente demarcado e ajustado conforme as especificações exigidas. O material foi cuidadosamente colado, garantindo uma aplicação precisa que não interferisse no acesso ao fogão, mantendo assim a funcionalidade e a integridade do design do protótipo.

3.1.4 Aplicação da fita aluminizada

Em continuidade ao processo, esta etapa se refere à aplicação da fita metálica ou aluminizada para o revestimento do isopor, proporcionando maior resistência e durabilidade ao protótipo. A fita metálica também foi utilizada em pontos estratégicos para unir diferentes seções do material, garantindo uma boa estrutura e estabilidade do conjunto (Figura 7A, 7B e 7C).

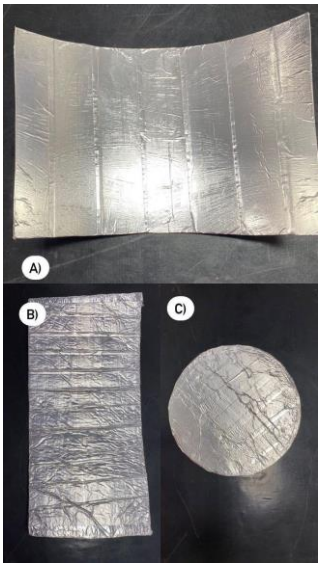


Figura 7: Revestimento com fita metálica.

Fonte: Autoria própria (2024).

Utilizando-se das ferramentas disponíveis no laboratório, foi realizado um furo preciso na estrutura do protótipo, destinado à inserção da tampa do fogão, como mostra a Figura 8A. O procedimento foi executado de maneira a garantir o ajuste adequado e a funcionalidade da peça dentro do conjunto.

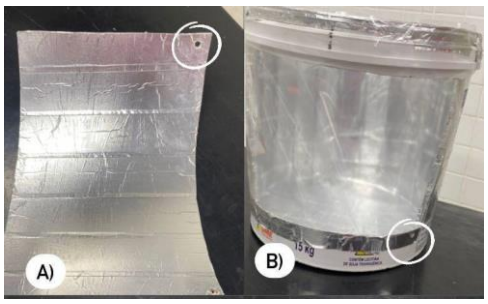


Figura 8: Furos para aplicação da tampa.

Fonte: Autoria própria (2024).

3.1.5 Confecção da porta e montagem final das partes e peças que compõem o protótipo

Concluindo o processo, procedeu-se à aplicação de uma camada de plástico sobre a superfície do protótipo, seguida da realização dos encaixes finais. A tampa foi fixada por meio de parafusos, garantindo sua firmeza e funcionalidade (Figura 8B). Com essas etapas finalizadas, o protótipo idealizado atingiu sua forma completa e estruturalmente íntegra, conforme mostra a Figura 9A e 9B.

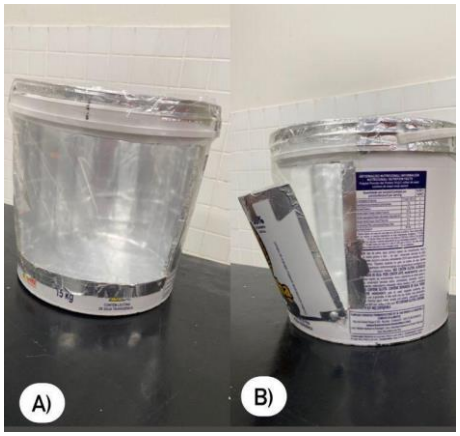


Figura 9: Protótipo desenvolvido.

Fonte: Autoria própria (2024).

4. RESULTADOS

Finalizada a seção 3, onde foram mostradas todas as etapas necessárias para a confecção do fogão solar portátil, a presente seção, tratará sobre os resultados obtidos (subseção 4.1 até 4.4) através dos experimentos realizados em um determinado período de tempo. É importante mencionar que todos os ensaios ocorreram na na área externa do Laboratório de Engenharias I, localizado no Campus Leste da UFERSA Mossoró/RN.

4.1. Experimento 1: macarrão instantâneo

No dia 24/06/2024, foi realizado o experimento para observar a cocção de 30 gramas de macarrão instantâneo. Às 10h40min, o fogão solar foi exposto à radiação solar, em seu interior estava contido uma panela com água. Neste horário a irradiação solar obtida pelo piranômetro tinha o valor aproximado de 1145W/m^2. Após 16 minutos, o macarrão instantâneo foi colocado na panela; em seguida, às 11h12min, o alimento estava cozido. Logo abaixo, as informações relacionadas ao processo de cocção do alimento podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1: Experimento 1 - Dia 24/06/2024.

Horário	**Temperatura Ambiente da Parte Interior do Fogão (°C)**	**Temperatura Ambiente da Parte Exterior do Fogão (°C)**	**Temperatura de Cocção (°C)**	**Irradiação Solar (W/m²)**	**Presença de Nebulosidade**
10h40min	30	33,5	31	1145	Não
10h56min	46,5	30,3	44,1	1050	Sim
11h12min	49	35	53	1190	Sim

Fonte: Autoria própria (2024).

O alimento foi incorporado ao experimento no segundo horário, mostrado na Tabela 1, no caso, às 10h56min. Portanto, o processo de cozimento durou algo em torno de 30 minutos, mesmo com a presença de nebulosidade observada nos horários em que o macarrão instantâneo estava em processo de cocção. A Tabela 2 mostra os dados médios obtidos da temperatura e irradiação solar no Experimento 1.

Tabela 2: Dados finais obtidos no Experimento 1.

Alimento	Média do Tempo de Cocção	Média das Temperaturas Ambiente da Parte Interior do Fogão (°C)	Média das Temperaturas Ambiente da Parte Exterior do Fogão (°C)	Média das Temperaturas de Cocção (°C)	Média dos Cálculos de Irradiação Solar (W/m²)
Macarrão Instantâneo	32 minutos	41,83	32,93	42,7	1128,33

Fonte: Autoria própria (2024).

4.2. Experimento 2: Arroz

O Experimento 2 foi realizado com uma amostra de 50 gramas de arroz, no intervalo de tempo entre 12h05min e 14h17min do mesmo dia em que houve a realização do experimento 1, ou seja, dia 24/06/2024. O alimento foi adicionado a uma panela com água localizada no interior do fogão solar portátil. No primeiro instante do experimento, a irradiação solar atingiu aproximadamente 1310 W/m²; às 12h50min foi registrada uma ocorrência de nebulosidade.

Logo, após 26 minutos da segunda medição, se fez necessário ajustar o fogão para uma inclinação de cerca de 45° com o objetivo de adaptar e ajustar a inserção e captação de radiação solar no protótipo. Todos os resultados obtidos durante a realização do experimento 2 são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Experimento 2 - Dia 24/06/2024.

Horário	Temperatura Ambiente da Parte Interior do Fogão (°C)	Temperatura Ambiente da Parte Exterior do Fogão (°C)	Temperatura de Cocção (°C)	Irradiação Solar (W/m²)	Presença de Nebulosidade
12h05min	49	35,5	25	1310	Não
12h50min	74,1	42,8	56	1290	Sim
13h16min	62,7	42	60	1060	Não
13h46min	65,3	45,6	66	1230	Não
14h17min	42	37,7	59,5	1032	Sim

Fonte: Autoria própria (2024).

A cocção do arroz se concluiu, em torno das 14 horas e 17 minutos, a irradiação solar apresentou o valor de 1032 *W/m²* nesse instante. No total, o processo de cocção teve a duração de 2 horas e 12 minutos. Este fator deve ser atribuído à presença de nebulosidade examinada em duas ocasiões distintas. A Tabela 4 mostra os dados médios obtidos da temperatura e irradiação solar no Experimento 2.

Tabela 4: Dados finais obtidos do Experimento 2.

Alimento	**Média do Tempo de Cocção**	**Média das Temperaturas Ambiente da Parte Interior do Fogão (°C)**	**Média das Temperaturas Ambiente da Parte Exterior do Fogão (°C)**	**Média das Temperaturas de Cocção (°C)**	**Média dos Cálculos de Irradiação Solar (W/m²)**
Arroz	2h12min	58,62	40,72	53,3	1184,40

Fonte: Autoria própria (2024).

4.3. Experimento 3: macarrão

Praticamente um mês após a realização dos experimentos 1 e 2, foi realizado o Experimento 3. Este experimento ocorreu no dia 22/07/2024, utilizando 50 gramas de macarrão do tipo parafuso no procedimento de cocção. Às 11h08min, foi adicionada uma panela com água na parte interna do fogão solar portátil. Após 20 minutos de exposição solar do protótipo, o macarrão foi introduzido na panela, e neste momento, a temperatura de cocção constatada foi de 47,8°C. Às 11h51min, o fogão foi rotacionado no sentido anti-horário para otimizar a incidência de raios solares em seu interior, com a finalidade de aumentar o desempenho do cozimento do alimento. A Tabela 5 mostra os resultados obtidos neste experimento.

Tabela 5: Experimento 3 - Dia 22/07/2024.

Horário	**Temperatura Ambiente da Parte Interior do Fogão (°C)**	**Temperatura Ambiente da Parte Exterior do Fogão (°C)**	**Temperatura de Cocção (°C)**	**Irradiação Solar (W/m²)**	**Presença de Nebulosidade**
11h08min	31,1	31,8	32,3	1170	Não
11h28min	52	34,4	47,1	1240	Não
11h39min	59	37	47,8	1259	Não
11h51min	50,1	34,9	53,2	1234	Não
12h04min	58,5	40,6	55,5	1259	Não
12h16min	58,9	42,5	58,8	1215	Não

12h26min	60,2	42,6	60,7	1076	Não
12h36min	62,4	44,5	60,1	1306	Não

Fonte: Autoria própria (2024).

Como mostrado na Tabela 5, não houve ocorrência de nebulosidade durante as medições. O macarrão foi cozido às 12h36min, neste instante, a irradiação solar marcou o valor de 1306 W/m². O tempo total de cocção foi de 1 hora e 28 minutos, as médias aritméticas dos dados recolhidos no Experimento 3 estão demonstradas na Tabela 6.

Tabela 6: Dados finais obtidos no Experimento 3.

Alimento	**Média do Tempo de Cocção**	**Média das Temperaturas Ambiente da Parte Interior do Fogão (°C)**	**Média das Temperaturas Ambiente da Parte Exterior do Fogão (°C)**	**Média das Temperaturas de Cocção (°C)**	**Média dos Cálculos de Irradiação Solar (W/m²)**
Macarrão	1h28min	54,025	38,54	51,94	1064,07

Fonte: Autoria própria (2024).

4.4. Resumo dos resultados dos experimentos

Nesta seção são mostrados os resultados obtidos em relação ao tempo de cocção dos alimentos ensaiados no período (junho a julho de 2024), conforme Tabela 7.

Tabela 7: Resumo dos resultados dos experimentos 1 ao 3.

Experimentos	**Alimentos**	**Tempo de Cocção**
Experimento 1	Macarrão Instantâneo	32min
Experimento 2	Arroz	2h12min
Experimento 3	Macarrão tipo parafuso	1h28min

Fonte: Autoria própria (2024).

Os três experimentos demonstram que o fogão solar portátil, embora apresente um tempo de cocção superior ao dos métodos habitualmente utilizados em processos com o GLP, oferece uma alternativa sustentável e de baixo custo para o preparo de alimentos. A dependência da irradiação solar e a influência da nebulosidade impactam diretamente o tempo necessário para o cozimento. Além de reduzir a emissão de gases poluentes e minimizar o uso de recursos não renováveis, o fogão solar utiliza uma fonte de energia inesgotável. O protótipo desenvolvido foi funcional e eficaz, mostrando o seu uso como uma tecnologia alternativa, de fácil construção, representando uma solução viável para regiões com alta incidência solar e dificuldade de acesso a combustíveis convencionais.

Pode-se observar que o experimento 1 teve um menor tempo de cocção, enquanto o experimento 2 e 3 mostrou-se o maior tempo. Como consequência, pode ser o tipo de alimento a ser feito (o macarrão instantâneo é mais fácil de ser cozido também em fogões convencionais), bem como as condições climáticas, se tem nebulosidade e como está a irradiação no dia da cocção.

5. Conclusão

O desenvolvimento do fogão solar portátil, utilizando materiais recicláveis e de baixo custo, mostrou-se uma solução eficiente e sustentável para a cocção de alimentos. Os protótipos analisados

evidenciaram a eficácia da tecnologia solar, mesmo em condições climáticas variáveis, destacando seu potencial para reduzir a dependência de fontes tradicionais de energia, como o gás. Além de ser uma alternativa saudável para famílias que se localizam distantes de centros urbanos e utilizam lenha para cocção de alimentos.

Os testes realizados atestaram que o protótipo proposto é viável, o que significa que ele é capaz de funcionar nas regiões onde a incidência de radiação solar é elevada e também possibilita que sejam utilizados em localidades que possuem escassa infraestrutura. Desta forma, a proposta é uma forma acessível e ecologicamente correta, uma vez que utiliza apenas energia limpa e renovável, além de sentenciar a eliminação dos impactos ambientais que são causados com a queima de combustíveis poluentes.

Esta pesquisa destaca a necessidade de investimentos regulares e mais modestos em tecnologias alternativas para expandir o escopo das tecnologias e garantir que elas possam se tornar acessíveis de maneira mais ampla para tornar a energia mais limpa e sustentável mais democratizada. Além disso, por meio da promoção de tecnologia como o fogão solar, o benefício não se limitaria à melhoria nas condições de vida das comunidades desfavorecidas, mas também traria vantagens econômicas e sociais, pela inclusão de sociedades locais menos abastadas e torna-se mais sustentável.

REFERÊNCIAS

[1] BESSA NETO, L. J.; SOMBRA JUNIOR, F. J.; GUERRA, F.K.O.M.V.; CARVALHO, A. E. O.; SILVA, E. P. F.. Análise comparativa da eficiência no processo de cocção de alimentos entre um fogão solar do tipo parabólico e um fogão solar do tipo caixa. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro de Engenharias, Curso Engenharia Elétrica. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/r4em/article/view/10202/10501>. Acesso em: 29 de novembro de 2024.

[2] LIMA, R. R.. Fabricação e estudo de um fogão solar à concentração mono e bifocal. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/43051>. Acesso em: 29 de novembro de 2024.

[3] FREITAS, D. J. O. Construção e avaliação da viabilidade da utilização de um fogão solar tipo caixa de baixo custo na cidade de Governador Dix-Sept Rosado/RN. 2018. Disponivel em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/aa462310-b92b-4c13-8070-0238712a5f8d/content>. Acesso em: 11 de agosto 2024.

[4] SOMBRA JUNIOR, F. J.; BESSA NETO, L. J.; TARGINO, E. F.; GUERRA, F.K.O.M.V.. Fogão solar tipo elíptico móvel: uma tecnologia alternativa para o processo de cocção de alimentos. R4EM 2020, 2ª ed.. Disponível em:< https://periodicos.ufersa.edu.br/r4em/article/view/9697/10318>. Acesso em: 11 de agosto 2024.

[5] SOMBRA JUNIOR, F. J.; BESSA NETO, L. J.; TARGINO, E. F.; GUERRA, F.K.O.M.V.. Fogão Solar Parabólico Estático vs Fogão Solar Parabólico Móvel In: XII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2020, Foz do Iguaçu.

[6] BRASIL, L. A. M.; NASCIMENTO, L. E. M.; CARDOSO, N. B.; MEDEIROS, F. E.; VARELLA, F.K.O.M.. Fogão solar tipo caixa: uma alternativa sustentável para a cocção de alimentos. In: XIV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2024, Manaus/AM. Transição Energética, Justa e Sustentável, 2024.