

Albemerc Moura de Moares
Marcos Antônio Tavares Lira
Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva
Organizadores

ENERGIA SOLAR NO PIAUÍ

Coletânea de artigos



EdUESPI



ALBEMERC MORAES

Doutor e Mestre em Energia pela Universidade Federal do ABC (UFABC) e Graduado em Física pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Assessor de Pesquisa na Pró Reitoria de Pesquisa da UFPI, líder do Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar do Piauí (GIPES). Docente do Mestrado em Climatologia e Aplicações nos Países da CPLP e África (UECE).



MARCOS LIRA

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí (UFPI), Mestre em Ciências Físicas Aplicadas pela Universidade Estadual do Ceará (UECE, Graduado em Engenharia Elétrica Universidade Federal do Ceará (UFC) e em Licenciatura Plena em Física pela UECE. Diretor do Centro de Tecnologia da UFPI. Docente do curso de Engenharia Elétrica da UFPI, do Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente da UFPI, do Mestrado em Engenharia Elétrica da UFPI e do Mestrado em Ensino de Física da UFPI.

ENERGIA SOLAR NO PIAUÍ:
Coletânea de artigos

Albemerc Moura de Moares
Marcos Antônio Tavares Lira
Oswaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva
Organizadores

ENERGIA SOLAR NO PIAUÍ: **Coletânea de artigos**



EdUESPI
2023



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ - UESPI

Evandro Alberto deSousa
Reitor

Jesus Antônio de Carvalho Abreu
Vice-Reitor

Mônica Maria Feitosa BragaGentil
Pró-Reitora de Ensino de Graduação

Josiane Silva Araújo
Pró-Reitora Adj. de Ensino de Graduação

Raurys Alencar de Oliveira
Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Fábia de Kássia Mendes Viana Buenos Aires
Pró-Reitora de Administração

Rosineide Candeia de Araújo
Pró-Reitora Adj. de Administração

Lucídio Beserra Primo
Pró-Reitor de Planejamento e Finanças

Joseane de Carvalho Leão
Pró-Reitora Adj. de Planejamento e Finanças

Ivoneide Pereira de Alencar
Pró-Reitora de Extensão, Assuntos Estudantis e Comunitários

Marcelo de Sousa Neto
Editorda Universida de Estadual do Piauí

Universidade Estadual do Piauí
Rua João Cabral, 2231 • Bairro Pirajá • Teresina-PI
Todos os Direitos Reservados



GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ - UESPI



Rafael Tajra Fonteles **Governadora do Estado**
Themístocles de Sampaio Pereira Filho **Vice-Governador do Estado**
Evandro Alberto deSousa **Reitor**
Jesus Antônio de Carvalho Abreu **Vice-Reitor**

Conselho Editorial EdUESPI

Marcelo de Sousa Neto **Presidente**
Algemira de Macedo Mendes **Universidade Estadual do Piauí**
Antonia Valtéria Melo Alvarenga **Academia de Ciências do Piauí**
Antonio Luiz Martins Maia Filho **Universidade Estadual do Piauí**
Artemária Coêlho de Andrade **Universidade Estadual do Piauí**
Cláudia Cristina da Silva Fontineles **Universidade Federal do Piauí**
Fábio José Vieira **Universidade Estadual do Piauí**
Hermógenes Almeida de Santana Junior **Universidade Estadual do Piauí**
Laécio Santos Cavalcante **Universidade Estadual do Piauí**
Maria do Socorro Rios Magalhães **Academia Piauiense de Letras**
Nelson Nery Costa **Conselho Estadual de Cultura do Piauí**
Orlando Maurício de Carvalho Berti **Universidade Estadual do Piauí**
Paula Guerra Tavares **Universidade do Porto - Portugal**
Raimunda Maria da Cunha Ribeiro **Universidade Estadual do Piauí**

Marcelo de Sousa Neto **Editor**
Os autores **Revisão**
Wellington Silva **Editoração, Diagramação e Capa**
[Editora e Gráfica UESPI](#) **E-book**

Endereço eletrônico da publicação: <https://editora.uespi.br/index.php/editora/catalog/book/163>

E56 Energia solar no Piauí: coletânea de artigos / Organizado por Albemerc Moura de Moraes, Marcos Antônio Tavares Lira e Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva. - Teresina: EdUESPI, 2023.

E-book.

ISBN: 978-65-81376-15-4

1. Energia solar. 2. Energia solar – Piauí. 3. Arquitetura solar. I. Moraes, Albemerc Moura de (Org.). II. Lira, Marcos Antônio Tavares (Org.). III. Silva, Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da (Org.). IV. Título.

CDD: 621.47

Ficha Catalográfica elaborada pelo Serviço de Catalogação da Universidade Estadual do Piauí - UESPI
Ana Angélica P. Teixeira (Bibliotecária) CRB 3º/1217

Editora da Universidade Estadual do Piauí - EdUESPI

UESPI (*Campus Poeta Torquato Neto*)

Rua João Cabral, 2231 • Bairro Pirajá • Teresina-PI

Todos os Direitos Reservados

“O sol que brilha todo dia, exhibe os dentes da alegria
É fonte toda infinita, de calor e de energia
Ser tão sol, ser tão de luz, sertão que brilha todo dia
ser tão sol, ser tão de luz, sertão que brilha todo dia”

Ser tão sol – Chão Brasileiro
Roberto Malvezzi & Nilton Freitas

PREFÁCIO

A energia solar desempenha um papel crucial no contexto das mudanças climáticas. O planeta já está sentindo as consequências do uso desenfreado de combustíveis fósseis e emissões de CO₂ na atmosfera. É urgente que aproveitemos melhor o que a fonte solar tem a nos oferecer. O Sol é uma fonte inesgotável, limpa e silenciosa, amplamente disponível no Brasil. Diferente de outras fontes renováveis, pode ser integrada ao meio urbano, inclusive se sobrepondo ou substituindo materiais construtivos das edificações, não ocupando área extra e gerando energia junto ao ponto de consumo. Assim, minimizam-se os custos com transmissão e distribuição e ainda se agrega mais valor aos imóveis que geram sua própria energia.

Participar da grade de professores do Primeiro Curso de Especialização em Energia Solar do Piauí, com a disciplina de Arquitetura e Energia Solar, foi uma honra e um prazer. 90% de toda geração distribuída do Brasil já ocorre sobre telhados e lajes, porém, em muitos casos, estas instalações acabam desvalorizando a arquitetura que os recebe. Nitidamente, há um gap entre a arquitetura e a geração de energia. Buscar um futuro mais sustentável no âmbito da construção civil é crucial e, para isso, é preciso repensar o edificar e o projetar. Neste sentido, a tecnologia fotovoltaica tem evoluído a ponto de que paredes, revestimentos, janelas e coberturas podem, ao mesmo tempo,

cumprirem funções arquitetônicas e gerarem energia, com beleza, elegância, multifuncionalidade, sustentabilidade e eficiência. Nas aulas de Arquitetura Solar, os alunos demonstraram grande interesse no assunto e contribuíram com ricas discussões acerca do enorme potencial que ainda temos a explorar rumo a um cenário de construções mais sustentáveis.

O programa do curso foi cuidadosamente elaborado para abranger todos os aspectos da utilização do recurso solar e, assim, capacitou profissionais aptos a projetarem, avaliarem e executarem sistemas fotovoltaicos comprometidos com a eficiência energética, estética e desempenho, frente a todos os fatores que impactam e/ou otimizam a geração de energia.

Nas páginas a seguir, o leitor vai encontrar nove artigos que discursam sobre diversos temas, tais como: uma bancada de testes acessível para instituições de ensino; o desenvolvimento de aplicativo para otimizar a gestão de uma empresa fotovoltaica; a aplicação do método de avaliação da eficiência energética em uma edificação comercial utilizando o método RTQ-C, a comparação do comportamento de dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados pela UFPI em Teresina; a avaliação de um sistema fotovoltaico após 6 anos de operação a partir de índices de mérito; a apresentação de um sistema para bombeamento de água, utilizando bombeamento solar e um sistema off-grid com armazenamento em baterias para atendimento de uma comunidade isolada; um estudo de propriedades aceitadoras e doadoras de elétrons em células orgânicas fotovoltaicas (OSCS) e suas interações com diferentes solventes; sistemas flutuantes e suas possibilidades de aplicação no Brasil; e, por fim, o desenvolvimento de um kit didático acessível para bombeamento de água a partir do sol.

Ao ler trabalhos de conclusão de curso com temas tão diversificados, mas todos com a energia solar em comum, percebemos como há espaço para inovação, criatividade e

desenvolvimento de pessoas e empresas dentro deste setor. Agradeço e parablenizo cada autor por sua dedicaçãoe contribuiçãoe. Uma publicação torna-se fonte de inspiraçãoe disseminaçãoe de conhecimento para outros estudantes e profissionais interessados em energia solar. Reforço também o papel de cada orientador que guiou e clareou os passos de seus orientandos para que os artigos atingissem seus objetivos. Parabéns!

Finalizo minhas palavras com otimismo em relaçaõee ao nosso futuro. Vejo que muito já fizemos no setor solar e o crescimento exponencial dos últimos anos nos mostra a força que conquistamos. Mas fico mais feliz de ver o quanto ainda poderemos fazer, explorar e descobrir em relaçaõee a esta fonte tão generosa que nos presenteia diariamente.

Deixo aqui o convite para o leitor desfrutar desta leitura, absorver o conhecimento compartilhado e disseminar a sustentabilidade por onde quer que vá.

Clarissa Debiazi Zomer

Arquiteta e Doutora em Engenharia Civil, especialista em energia solar fotovoltaica integrada à arquitetura

CEO Arqitetando Energia Solar / Diretora de BIPV da Associação Brasileira de Energia Solar / Diretora de Projetos Arqitetônicos da Garantia Solar / Professora de Pós-Graduaçãoe UFPI

APRESENTAÇÃO

A utilização da energia solar, para além de seus processos naturais, tem grande potencial para o Desenvolvimento Sustentável, sobretudo devido à alta disponibilidade do recurso solar, que no Brasil possui uma média diária superior ao de países líderes na utilização deste insumo, sobretudo os da Europa. No contexto nacional, a região nordeste possui a maior média de irradiação e menor variabilidade interanual, o que também pode ser constatado no estado do Piauí. Com médias diárias da irradiação solar nos municípios piauienses 4% maior que a média da região nordeste, comprova-se, portanto, o grande potencial de utilização de tecnologias de energia solar no estado, o que justifica o desenvolvimento de ações de capacitação em todos os níveis de educação, voltados para este tema.

O Primeiro Curso de Especialização em Energia Solar do Piauí foi criado no dia 10 de março de 2020 através da resolução Nº11/2020 do Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão (CEPEX) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), vinculado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, do Centro de Tecnologia da própria universidade. O curso foi coordenado pelos professores Marcos Lira e Albemerc Moraes, e contou ainda com a colaboração de outros professores mestres e doutores da própria UFPI e de outras instituições como: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Universidade Federal de Santa Maria

(UFSM), Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia (CERNE), Instituto de Ensino Superior (ICEV) e Parksol Energia e Engenharia.

Com uma carga horária de 495 horas-aula, o curso previsto inicialmente para ser ministrado integralmente na modalidade presencial, teve o seu primeiro processo seletivo no dia 27 de abril de 2021 e, efetivamente iniciou-se no dia 28 de maio de 2021. Entretanto, devido às restrições sanitárias decorrentes da pandemia do Covid-19, parte da carga horária teve que ser ministrada à distância. Ao final do curso, 34 alunos das mais diversas formações (Engenharias, Ciências Sociais Aplicadas, Licenciaturas e Cursos Técnicos) e atuações profissionais obtiveram o título de “Especialista em Energia Solar”.

Após a aprovação em todas as disciplinas regulares, como pré-requisito complementar para obtenção deste título, os alunos elaboraram um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), de caráter individual e orientado por um professor integrante do corpo docente do curso. Conforme previsto no Projeto Pedagógico do Curso, todos os TCC foram avaliados por uma banca examinadora designada para este fim, composta no mínimo por dois membros (um membro interno e outro externo ao programa), além do orientador (presidente da banca), com defesa pública presencial ou através de videoconferência. Dessa forma, todos os trabalhos foram avaliados e julgados adequados à temática “Energia Solar e suas aplicações”, demonstrando o domínio teórico sobre o objeto de estudo, com a capacidade de realizar pesquisa com utilização de método científico, sistematizar conhecimentos e analisar situações-problema.

As defesas dos TCC ocorreram de novembro de 2022 à abril de 2023 e apresentaram pesquisas realizadas no Piauí, contemplando as cidades de Campinas do Piauí, Floriano, José de Freitas, Picos e Teresina, além de pesquisas realizadas nos estados do Maranhão (cidade de Presidente Dutra) e do Pará (sudeste

do estado). Abordou-se, portanto, diversas temáticas como: Mobilidade Elétrica (3%), Eficiência Energética (3%), Geração Centralizada de Energia (6%), Materiais e Equipamentos (12%), Bombeamento Solar e Sistemas Isolados (12%), Energia e Meio Ambiente (15%), Operação e Manutenção de Sistema de Energia Solar (18%) e Geração Distribuída de Energia (32%). Devido ao caráter técnico e prático deste curso de especialização, em sua grande maioria, as pesquisas caracterizaram-se como Estudo de Caso (62%), tendo sido identificados ainda, trabalhos de Revisão Bibliográfica (38%), contemplando os setores Residencial, Comercial, Industrial e o Poder Público.

Este livro representa, portanto, a Produção Científica da Primeira Pós-graduação em Energia Solar do Estado do Piauí, de modo que são apresentados Trabalhos de Conclusão de Curso elaborados pelos discentes, sob a orientação dos professores orientadores, selecionados por critérios quantitativos e qualitativos. Trata-se, portanto, do primeiro volume de uma coletânea de artigos que visa contribuir cientificamente para a temática da Energia Solar e suas aplicações, estimulando a produção científica dos alunos e professores orientadores.

SUMÁRIO

PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE BAIXO CUSTO PARA UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE (SFVCR).....19

João Paulo da Silveira Pinheiro

Oswaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NO ÂMBITO DA ENERGIA SOLAR PARA O APRIMORAMENTO DA COLETA E ARMAZENAMENTO DE DADOS PARA INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS ATRAVÉS DO APLICATIVO “VISTORIA SOLAR” 45

Francisco das Chagas Linhares Silva Júnior

Diana Beatriz de Almeida

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO PÚBLICA NA CIDADE DE JOSÉ DE FREITAS UTILIZANDO O MÉTODO RTQ-C..... 65

Francisco Roger Andrade dos Reis

Fábio Rocha Barbosa

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SFCR DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFPI 91

Arineu Felix dos Santos

Marcos Antônio Tavares Lira

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO NO MUNICÍPIO DE FLORIANO APÓS 6 ANOS DE OPERAÇÃO 115

Áureo do Carmo Moura

Marcos Antônio Tavares Lira

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS NA RESOLUTIVIDADE DE PROBLEMAS ENERGÉTICOS NA LOCALIDADE LAGOA REDONDA, MUNICÍPIO DE CAMPINAS-PI..... **137**

Pablo Kennedy Santana Santos

Dionatas Rayron da Silva Alves

ESTUDO DAS PROPRIEDADES ACEITADORAS E DOADORAS DE ELÉTRONS EM CÉLULAS ORGÂNICAS FOTOVOLTAICAS (OSCS) E SUAS INTERAÇÕES INTERMOLECULARES COM OS SOLVENTES..... **163**

Marinaldo Sousa de Carvalho

Alexandre de Castro Maciel

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES E SUA APLICABILIDADE NO BRASIL..... **191**

Andreia Leal da Costa Magalhães

Bartolomeu Ferreira dos Santos Junior

SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEAMENTO APLICADO À EDUCAÇÃO DO CAMPO NO CONTEXTO DO ENSINO DE FÍSICA **209**

Fábio Soares da Paz

Albemerc Moura de Moraes

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (O&M) EM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE(SFCR)..... **233**

Lenilson Martins Magalhães Ribeiro

Marcos Antônio Tavares Lira

PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE BAIXO CUSTO PARA UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE (SFVCR)

*João Paulo da Silveira Pinheiro
Oswaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva*

INTRODUÇÃO

Considerações iniciais

A geração de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis é uma questão cada vez mais relevante na sociedade atual, uma vez que as fontes não renováveis, como os combustíveis fósseis, são finitas e emitem gases poluentes que contribuem para o aquecimento global e mudanças climáticas (LOPES et al., 2019). As fontes renováveis de energia, por outro lado, utilizam recursos não esgotáveis, como a radiação solar, os ventos, a energia hidráulica e a biomassa, para gerar eletricidade. Essas fontes de energia renováveis são abundantes e renováveis constantemente na natureza, como no

caso da energia solar, gerada através da radiação solar (MORAIS et al., 2021). Além disso, as fontes renováveis de energia são menos poluentes do que as fontes não renováveis.

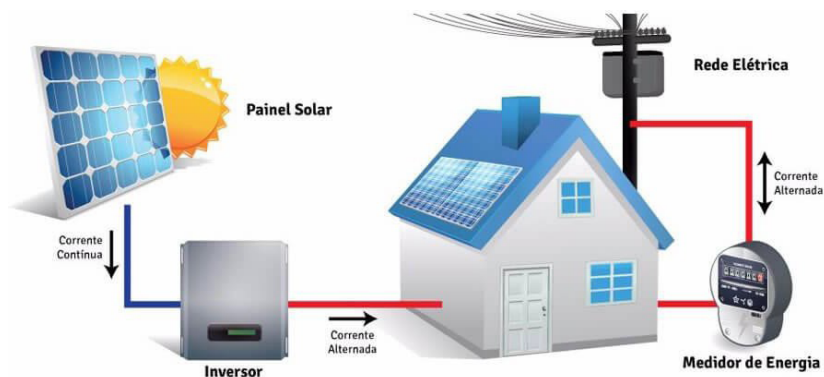
É certo que a geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis vêm ganhando cada vez mais espaço no cenário mundial (FGV, 2020). Isso se deve principalmente ao fato de que os recursos não renováveis estão se tornando cada vez mais escassos (SATO, 2022) levando ao aumento de buscas e preços para tais recursos. Esta tendência começa a ter um impacto negativo nas grandes unidades geradoras de energia, especialmente porque as principais fontes de energia do mundo são provenientes de recursos não renováveis (FGV, 2020). No entanto, a utilização de fontes de energia renováveis é uma alternativa ao atual modelo energético. Uma das principais vantagens das fontes renováveis é que elas causam menos impactos negativos ao meio ambiente. De fato, no Brasil, o uso de fontes renováveis de energia vem crescendo continuamente na última década, representando 83,53% de toda a matriz energética do país, ver a (Tabela 1).

Tabela 1 – Percentuais de geração de energia por fonte Fonte: SIGA-Sistema de informações de geração da ANEEL (2023)

Fontes	Quantidade	Potência (kW)	%
Biomassa	626	16.568.621,05	8,64%
Carvão mineral	22	3.465.830,00	1,81%
Derivados de petróleo	2192	8.641.045,97	4,50%
Eólica	919	25.374.623,86	13,23%
Gás Natural	181	17.512.771,39	9,13%
Hídrica	1362	109.778.486,13	57,22%
Nuclear	2	1.990.000,00	1,04%
Solar	18000	8.534.826,43	4,45%

O sistema de geração fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) é um tipo de sistema conectado à rede pública de distribuição de energia elétrica. Esse sistema funciona através da captação da luz solar por meio dos painéis solares, que gera eletricidade em corrente contínua, sendo então transformada em corrente alternada (MORAIS et al., 2021) e o excedente da geração é direcionado para ser distribuída pela rede pública e ser usado como créditos para compensação de eventual consumo registrado em horários que a geração não atenda as cargas instaladas (PEREIRA, 2019), na figura 1 temos a ilustração do processo de funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR). O uso de sistemas de geração conectado à rede pública é uma ótima alternativa para reduzir a conta de luz e diminuir a dependência de fontes de energia não renováveis. Com uma preocupação crescente com a sustentabilidade, a utilização de sistemas de geração de energia solar torna-se cada vez mais relevante para contribuir para a preservação do meio ambiente (GHIZONI, 2016).

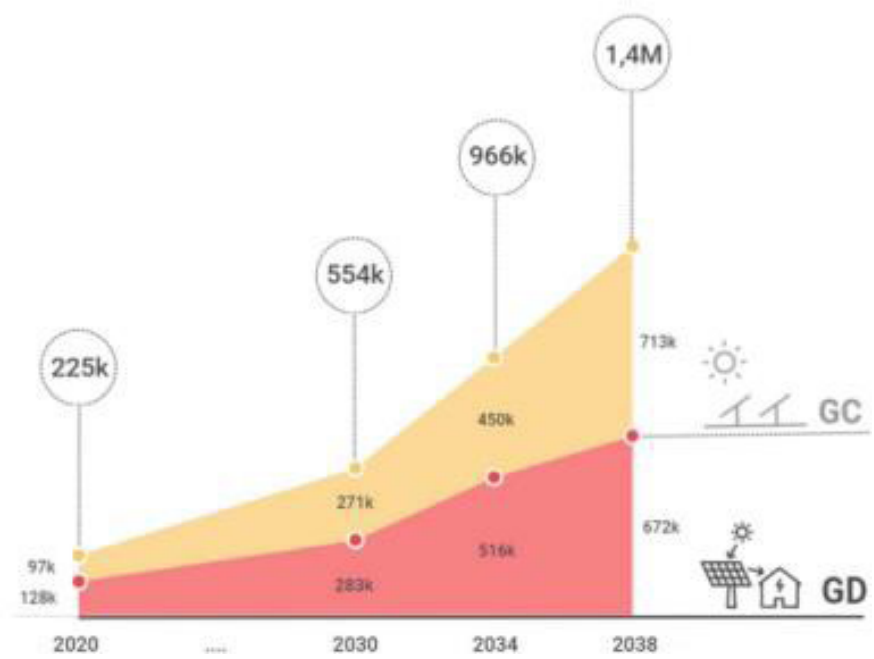
Figura 1 - Ilustração sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR)



Fonte: Bao Riberio Advogados (2022).

A demanda por mão de obra especializada no setor é crescente e podemos observar este crescimento através da previsão de empregos a serem gerados conforme gráfico informado na figura 2 e este aumento de demanda de mão obra esperado é decorrente do crescimento dos sistemas de geração distribuída nos últimos anos conforme indicado na figura 3, onde temos um gráfico com a evolução do crescimento da geração distribuída comparada com a geração centralizada.

Figura 2 – Estimativa de geração de empregos acumulados para matrizes de geração distribuída e centralizada

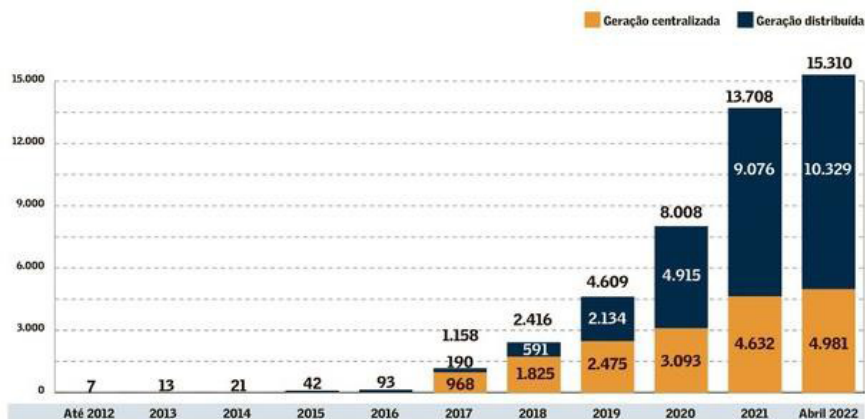


Fonte: Cadeia produtiva solar, GIZ (2021).

Figura 3 – Evolução geração distribuída e centralizada

Evolução no Brasil

Solar fotovoltaica em potência instalada (MW)



Fonte: Aneel/Absolar (2022).

Diante do cenário da demanda por mão de obra qualificada no setor de energia renovável, no caso da fonte solar, o Instituto Federal do Piauí, campus Teresina Central, oferta atualmente a comunidade os seguintes cursos afins com o setor de energia renovável: cursos técnicos de eletrotécnica, eletrônica, sistemas de energia renovável, mecânica e gestão ambiental. Além dos cursos técnicos temos a oferta de cursos superiores em licenciatura em física e bacharelado em mecânica e materiais. A nível de capacitação profissional o campus disponibiliza o curso de formação inicial e continuada (FIC) de eletricista de sistemas de energias renováveis. Vale ressaltar que o IFPI-Campus Teresina Central é apenas um dos campus da rede IFPI, onde ela tem uma cobertura em todo o estado do Piauí, dispondo de cursos das áreas citadas anteriores nos campus de Parnaíba, Floriano e Picos.

Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo principal a elaboração do projeto de uma bancada didática de baixo custo e que aproxime o ambiente teórico ao ambiente prático, buscando eliminar desta forma as dificuldades de realização de aulas práticas pelos professores devido à ausência de bancadas didáticas para os alunos trabalhem diretamente com os componentes que integram este tipo de sistema e desenvolvam habilidades práticas de manuseio de ferramentas, equipamentos, manuais e folhas de componentes. O custo de aquisição de uma bancada comercial é bem elevado e aliado a isto temos a limitação de orçamento que as instituições federais estão passando nos últimos anos, segundo o portal G1 (2020), “Universidades federais e institutos perdem, em 10 anos, 73% da verba para construir laboratórios, fazer obras e trocar computadores”.

Justificativa

A proposta de construção de uma bancada para sistema fotovoltaico conectado à rede(SFVCR) surgiu durante a aplicação de uma componente curricular do curso de formação inicial e continuada (FIC) de eletricista de sistemas de energias renováveis realizado no Instituto Federal do Piauí no ano de 2022 e posteriormente como solução para o problema de poucos recursos laboratoriais para práticas de ensino sobre a temática de sistema fotovoltaico conectado à rede(SFVCR) que são abordados nos demais cursos afins ofertados pelo IFPI-campus Teresina Central. A figura 4 mostra um protótipo executado com materiais aplicados em uma instalação real, entretanto foi montada de forma improvisada com painéis de madeira, reaproveitados de divisórias de salas para fixação dos equipamentos. A necessidade do desenvolvimento de uma nova bancada foi idealizada para

mostrar de forma didática a sequência de montagem de um SFVCR, quais os materiais e equipamento que são aplicados na instalação deste sistema e que fosse adotado um padrão de montagem conforme recomendações normativas (ABNT,2019).

Figura 4 – Imagem protótipo da bancada sendo utilizado em curso de formação inicial e continuada (FIC) no Instituto Federal do Piauí, 2022.

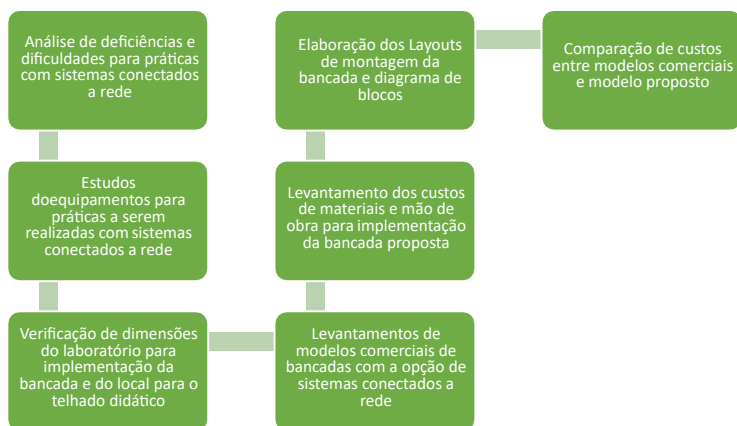


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

MATERIAIS E METODOS

O fluxograma apresentado na figura 5, ilustra a sequência de etapas metodológicas utilizadas no desenvolvimento do projeto da bancada.

Figura 5 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento do projeto.

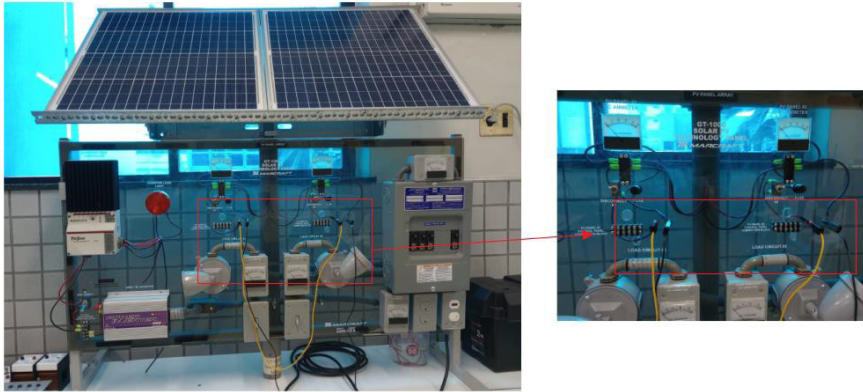


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Análise de deficiências e dificuldades para práticas com sistemas conectados à rede

Na etapa inicial foram analisadas as deficiências e dificuldades para realização de práticas com sistema conectado à rede (SFVCR) e a principal dificuldade encontrada foi a disponibilidade de uma bancada na qual permitisse o discente trabalhar competências relevantes a montagem de sistema fotovoltaica conectado à rede (SFVCR), ressalta-se que a única bancada comercial disponível no IFPI-campus Teresina Central para aplicação de conhecimentos de energia fotovoltaica, ver figura 6, atende somente para uso em aplicações com sistemas fotovoltaicos isolados da rede (off grid), sendo assim, impossibilitando sua utilização em práticas com sistema conectado à rede (SFVCR).

Figura 6 – Imagem bancada comercial de sistemas fotovoltaicos isolados (off grid) do Instituto Federal do Piauí utilizando conexões que não são utilizadas em uma situação real e com disposição de componentes diferentes de uma aplicação prática, 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Estudos dos equipamentos para práticas a serem realizadas com sistemas conectados à rede

Nesta etapa foram feitas as escolhas dos equipamentos e materiais a serem implementados nas práticas segundo as recomendações normativas (ABNT, 2019) e (Equatorial, 2023).

A quantidade de módulos fotovoltaicos escolhida para composição do gerador fotovoltaico levou em consideração o desenvolvimento de práticas envolvendo os tipos de ligações: série, paralelo e leap-frog. Desta forma a quantidade de módulos fotovoltaicos a serem utilizados serão quatro e a potência de cada será de 450W.

O dimensionamento do inversor foi realizado de modo que ele não seja nem pouco utilizado nem sobrecarregado, logo sua potência foi escolhida de acordo com a potência de geração

conforme o cálculo: $0,7 \times P_{fv} < P_{maxinv} < 1,2 \times P_{fv}$, onde “ P_{fv} ” é a potência de geração e “ P_{maxinv} ” é a potência do inversor escolhido.

$$P_{fv} = 4 \times 450 \text{ (W)} = 1800\text{W} \quad (1)$$

$$0,7 \times 1800 \text{ (W)} < P_{maxinv} < 1,2 \times 1800 \text{ (W)} \quad (2)$$

$$1260 \text{ (W)} < P_{maxinv} < 2160 \text{ (W)} \quad (3)$$

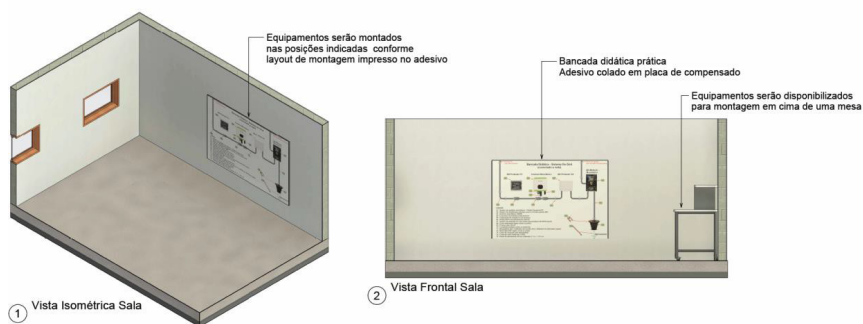
Sendo assim, a potência escolhida foi de 1500W que se encontra na faixa de valores do critério de seleção utilizado. No ponto de conexão com a rede foi utilizado um quadro de medição com o padrão monofásico e proteção com disjuntor monopolar curva C de 25A, pois de acordo com normativo da concessionária local (NT.001-Equatorial-PI) é a capacidade de atendimento de uma unidade monofásica de até 4kW. Na caixa de proteção interna da instalação (lado CA) foram previstos dispositivos de proteção contra surto de tensão (DPS) 45kA-classe II e proteção de sobrecorrente do inversor com um disjuntor monopolar de 10A curva C, pois a máxima corrente do inversor selecionado é de 7,55A, a caixa de proteção do lado CC (String Box) é uma caixa de junção, que liga os módulos fotovoltaicos ao conversor CC-CA (inversor on grid) composta por: uma chave seccionadora CC para manobras com capacidade de condução de 32A e um dispositivo supressor de surto CC (DPS) de três polos 45kA-Classe II. A conexão do cabeamento do lado CC será realizada por conector específico desenvolvido para conexão de sistemas fotovoltaicos, conhecidos como conectores MC4.

Verificação de dimensões do laboratório para implementação da bancada e local para o telhado didático

Após a escolha dos equipamentos e materiais foram verificadas as dimensões do laboratório de energia renovável do IFPI-campus Teresina Central para verificar a compatibilidade

para instalação da bancada com o inversor on grid para ficar na sua parte interna e o telhado didático ficando na parte externa para possibilitar a realização dos testes nas condições de operação com fonte de irradiação natural. Pelo levantamento dimensional o laboratório possui a dimensão 8mx6m e a área externa escolhida para instalação do telhado didático possui a dimensão 5mx4m. Com o auxílio de um software de modelagem da informação na construção (BIM)-Revit 2020 foi feita a simulação de instalação da bancada no laboratório, ver figura 7.

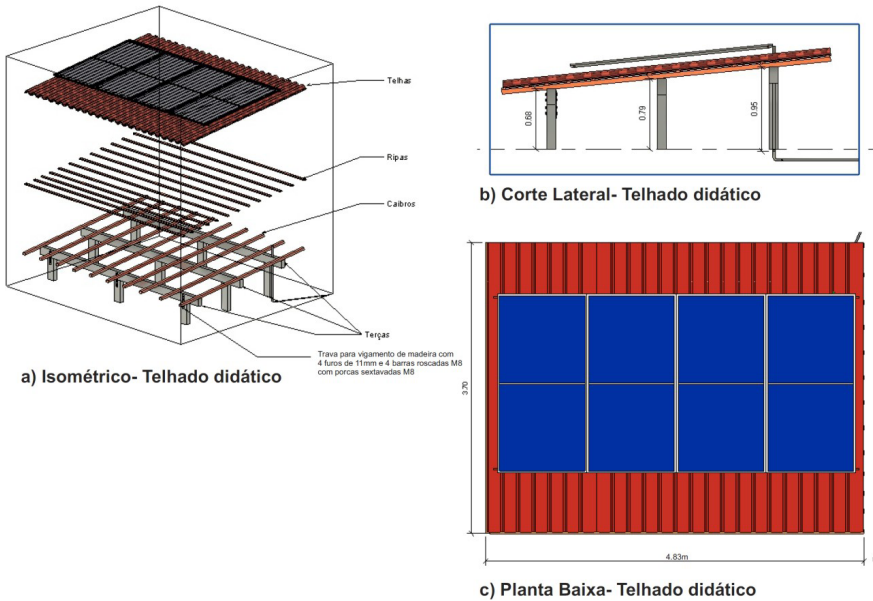
Figura 7 – Vista 1 (imagem isométrica da sala) e Vista 2 (imagem frontal da sala).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Também foi realizado a modelagem do telhado didático para uso na área externa. A localização prevista para execução da cobertura é o espaço disponível no pavimento térreo ao lado da auditoria principal. Os detalhes construtivos e localização da instalação da cobertura estão informados nas figuras 8 e 9, respectivamente.

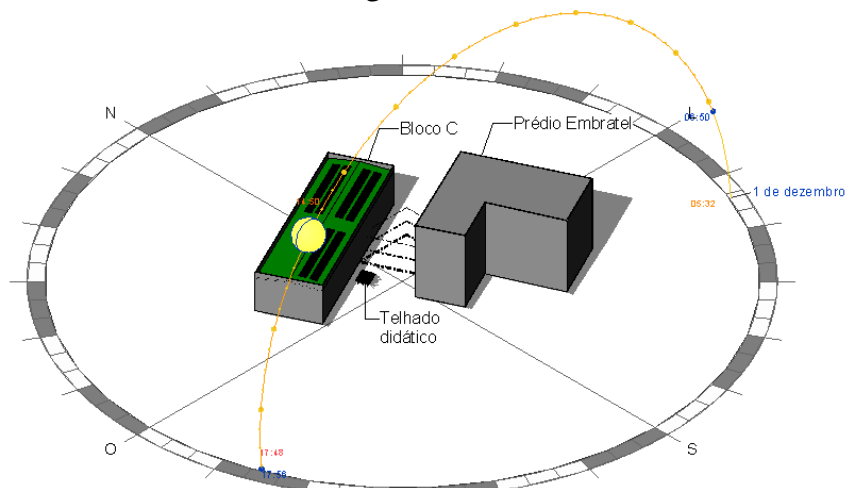
Figura 8 – Detalhes telhado didático para montagem de sistemas fotovoltaicos em cobertura com telha cerâmica: a) vista isométrica, b) corte lateral e c) Planta baixa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

pleno para desenvolvimento das atividades práticas. O ideal seria uma área livre de sombreamento, entretanto temos poucas áreas livres disponíveis no campus Teresina- central.

Figura 10- Levantamento de sombreamento através de modelagem BIM-Revit.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 2- Horário de início do sombreamento na região disponível para instalação do telhado didático.

Mês	Horário Início sombreamento
JANEIRO	15:00
FEVEREIRO	14:00
MARÇO	13:00
ABRIL	12:00
MAIO	10:00
JUNHO	08:00
JULHO	08:00
AGOSTO	09:00

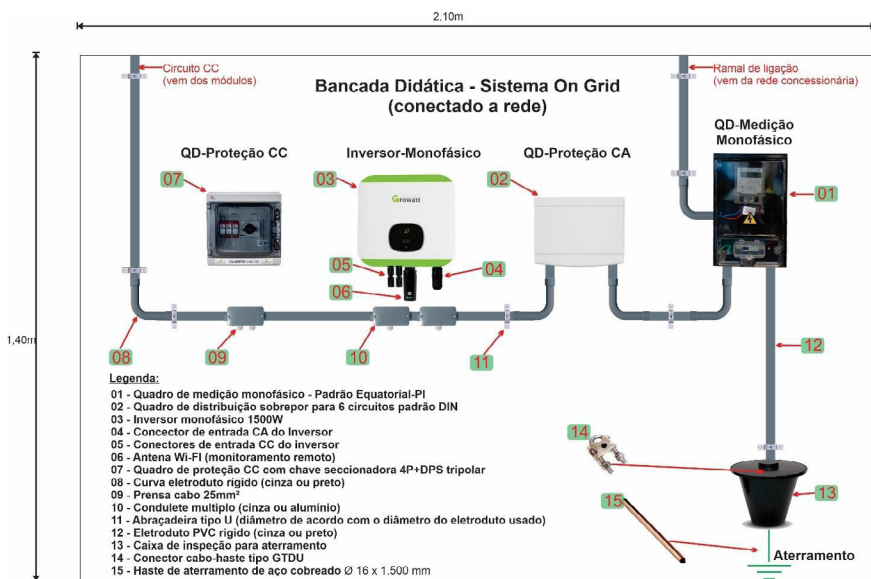
SETEMBRO	10:00
OUTUBRO	12:00
NOVEMBRO	14:00
DEZEMBRO	15:00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Elaboração dos Layouts de montagem da bancada e diagrama de blocos

A modelagem virtual do layout da bancada com inversor on grid foi desenvolvida no software de desenho vetorial bidimensional, Corel Draw 19, conforme ilustrado na figura 11.

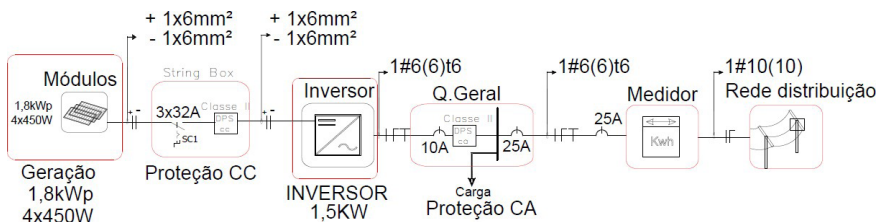
Figura 11 - Layout de montagem da bancada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O layout dos equipamentos ilustra uma montagem conforme será desenvolvido em campo (desde o ponto de conexão com a rede até o ponto de conexão no padrão de entrada com medidor, conforme normativo Equatorial-2023), passando pelos elementos de proteção (caixas de proteção CA e CC), elemento conversor CC-CA (inversor on grid) até o ponto de conexão com os módulos fotovoltaicos. O layout de montagem será impresso na bancada para os alunos terem a visualização dos elementos de infraestrutura (eletrodutos, caixas de passagem e elementos de fixação). Logo após foi desenvolvido o diagrama de blocos do sistema a ser implementado na bancada, ver figura 12.

Figura 12 – Diagrama de blocos sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) proposto para bancada.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Levantamento dos custos de materiais e mão de obra para implementação da bancada proposta

Os materiais a serem utilizados foram divididos em dois grupos: materiais para bancada com inversor on grid e telhado didático em telha do tipo cerâmica com módulos fotovoltaicos. Foram realizadas cotações no mercado local para verificar o custo de implantação da bancada com inversor on grid e telhado didático com telha cerâmica. Nas tabelas 3 e 4 são apresentados os quantitativos e preços levantados.

Tabela 3 – Materiais a ser utilizados no projeto de montagem da bancada com inversor on grid.

Descrição Material	Und.	Quant.	P. Unit.	P. Total
Abraçadeira tipo U ¾"	Und.	7	R\$ 2,50	R\$ 17,50
Adaptador de saída condutele PVC cinza ¾"	Und.	6	R\$ 6,50	R\$ 39,00
Adesivo de 2,10mx1,40m	m ²	2,94	R\$ 27,21	R\$ 80,00
Cabo de cobre flexível 750V na cor vermelha 2,5mm ²	m	10	R\$ 1,20	R\$ 12,00
Cabo de cobre flexível na 750Vcor azul 2,5mm ²	m	10	R\$ 1,20	R\$ 12,00
Cabo de cobre flexível na cor 1800Vcc preta 6mm ²	m	15	R\$ 8,00	R\$ 120,00
Cabo de cobre flexível na cor 1800Vcc vermelha 6mm ²	m	15	R\$ 8,00	R\$ 120,00
Cabo de cobre flexível na cor 750V verde 2,5mm ²	m	10	R\$ 1,30	R\$ 13,00
Caixa de inspeção aterramento 23x20cm	Und.	1	R\$ 18,00	R\$ 18,00
Conduletes PVC cinza de ¾" com tampa cega	Und.	3	R\$ 12,33	R\$ 37,00
Conector de aterramento GTDU para cabos de até 10mm ²	Und.	1	R\$ 18,00	R\$ 18,00
Disjuntor DIN 10A-1P-250Vca-Curva C	Und.	1	R\$ 8,00	R\$ 8,00
Disjuntores DIN 16A-1P-250V-ca-Curva C	Und.	2	R\$ 8,00	R\$ 16,00
DPS 20kA-45kA-275V classe II	Und.	2	R\$ 80,00	R\$ 160,00
Espiral organizado de cabos 1m	Und.	1	R\$ 14,00	R\$ 14,00
Haste de aterramento ½"x1m	Und.	1	R\$ 47,00	R\$ 47,00
Inversor monofásico de 1500W on grid	Und.	1	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
Painel de madeira 2,10mx1,4mx0,017m	m ²	2,94	R\$ 119,05	R\$ 350,00
Par Conectores MC4	Und.	4	R\$ 15,00	R\$ 60,00
Parafusos aglomerados philps cabeça chata 3,5x14mm	Und.	30	R\$ 0,40	R\$ 12,00
Parafusos com bucha S10	cj	4	R\$ 1,88	R\$ 7,50
Prensa cabos 25mm	Und.	4	R\$ 11,00	R\$ 44,00

Quadro de distribuição sobre- por para 6 circuitos din	Und.	1	R\$ 52,00	R\$ 52,00
Quadro de medição monofásico no padrão da concessionária	Und.	1	R\$ 79,00	R\$ 79,00
Quadro de proteção CC com 2 entradas e uma saída	Und.	1	R\$ 651,00	R\$ 651,00
Terminais pré-isolado azul de 2,5mm ²	Und.	16	R\$ 2,50	R\$ 40,00
Eletróduto PVC cinzam de ¾” x3000mm	Und.	2	R\$ 20,00	R\$ 40,00
CUSTO TOTAL MATERIAIS PARA BANCADA COM INVERSOR				R\$ 4.567,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 4 – Materiais a ser utilizados no projeto de montagem do telhado didático

Descrição Material	Und.	Quant.	P. Unit.	P. Total
Arruela Lisa M8	Und.	200	R\$ 0,26	R\$ 52,00
Barra roscada M8x1000mm	Und.	16	R\$ 15,00	R\$ 240,00
Caibro 5cmx6cmx6m	Und.	6	R\$ 107,00	R\$ 642,00
Cantoneira Moveis Reforçada C23 6cm X 6cm	Und.	30	R\$ 6,50	R\$ 39,00
Kit de fixação para 4 módulos fotovoltaicos em telha cerâmica	Und.	1	R\$ 760,00	R\$ 760,00
Kit ferragem para vigamento de madeira: comprimento 200mm, largura 50mm e espessura 5mm. Com 4 furos de 11mm de diâmetro. Kit com 4 peças	Und.	10	R\$ 140,00	R\$ 1.400,00
Módulos fotovoltaicos de 450W	Und.	4	R\$ 1.300,00	R\$ 5.200,00
Parafuso Aglomerado Fenda Phillips Cabeça Chata 4.5 X 40mm	Und.	150	R\$ 0,15	R\$ 22,50
Porca sextavada M8	Und.	200	R\$ 0,90	R\$ 180,00
Prego 15mm x 21mm	kg	0,5	R\$ 24,00	R\$ 12,00
Prego 18mm x 30mm	kg	0,5	R\$ 24,00	R\$ 12,00

Ripa 5cmx2cmx6m	Und.	10	R\$ 25,00	R\$ 250,00
Telha cerâmica tipo colonial	Und.	350	R\$ 2,15	R\$ 752,50
Terça 6cmx12cmx6m	Und.	5	R\$ 240,00	R\$ 1.200,00
CUSTO TOTAL MATERIAIS PARA TELHADO DIDÁTICO				R\$ 10.762,00

Fonte: Elaborada pelo autor conforme levantamento de orçamentos (2023).

Pelas composições (referência SINAPI DEZ-2022) de custos de mão de obra foi levantado o valor por m², ver na tabela 5, para montagem da cobertura didática cujo valor foi de R\$ 29,57 por m². Temos uma área de cobertura para o telhado de 20m², logo o custo com a mão de obra será de: R\$ 591,40.

Tabela 5 – Levantamento de custo mão de obra para montagem telhado didático


COMPOSIÇÃO DE CUSTOS MÃO DE OBRA PARA MONTAGEM DO TELHADO DIDÁTICO -M² - SINAPI(DEZ- 2022)					
92542	TRAMA DE MADEIRA COMPOSTA POR RIPAS, CAIBROS E TERÇAS PARA TELHADOS DE MADEIRA - M²				
	MÃO DE OBRA	UND	COEF.	P.UNIT.	P.TOTAL
88239	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,68	23,24	15,80
88262	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,50	19,09	9,54
	TOTAL DE MÃO DE OBRA POR M²				R\$ 25,35
94189	TELHAMENTO COM TELHA CERAMICA - M²				
	MÃO DE OBRA	UND	COEF.	P.UNIT.	P.TOTAL
88323	TELHADISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,05	23,24	1,16
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16	19,09	3,05
	TOTAL DE MÃO DE OBRA POR M²				R\$ 4,22

Fonte: Elaborada pelo autor conforme levantamento de orçamentos (2023)

Levantamentos de modelos comerciais de bancadas com a opção de sistemas conectados a rede

Posterior a etapa de levantamento dos custos dos materiais e mão de obra para confecção da bancada com conversor e do telhado didático foi realizado o levantamento do custo de bancadas comerciais, ver tabela 6) que pudessem atender ao propósito da temática de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR).

Tabela 6 - Bancadas didáticas sistemas fotovoltaicos conectados à rede comerciais e custos

Descrição	Inclui Prática (SFVCR)	Componentes inclusos	Investimento Unitário	Imagem da Bancada	Empresa Fornecedora
BANCA-DA ENERGIAS RENOVÁVEIS DIGITAL	Montagem de sistemas conectados à rede através de bornes e conexão com cabos bananas.	Uma placa fotovoltaica de 260W, um conversor DC/AC on grid, cabos de conexão. Acompanha uma licença de software para desenvolvimento de projetos para 20 computadores (PV*SOL® premium).	R\$ 77.065,86		Labtronix

BANCADA
ONGRID

Montagem de sistemas conectados à rede através de bornes e conexão com cabos bananas.

Uma placa fotovoltaica de 260W, um módulo iluminador (simulador de sol), um radiômetro para medição de potência em w/m², um conversor DC/AC on grid, acompanha 2 licenças de software para desenvolvimento de projetos com ampla biblioteca para aplicações em simulação e estudos em energias renovável

R\$
235.980,00



CincoLAB

Fonte: Elaborado pelo autor conforme propostas comerciais recebidas (2023).

Comparação de custos entre modelos comerciais e modelo proposto

O valor do investimento levantado para confecção da bancada de baixo custo foi de R\$4.567,00 para a bancada com inversor on grid, R\$ 10.762,00 para a montagem do telhado didático e R\$ 591,40 para mão de obra de montagem, totalizando um custo total de R\$ 15.920,40. Um valor bem inferior quando comparado com as bancadas comerciais que podem passar dos R\$ 70.000,00.

RESULTADOS E DISCURSÕES

Com a bancada proposta foi concebido um modelo prático simulando uma instalação consoante recomendações normativas

(ABNT,2019) e (ABNT,2008) onde foi possível implementar as atividades de montagem do sistema conectados à rede (SFVCR), desde a aplicação de materiais que são utilizados na infraestrutura (eletrodutos, cabeamento, conectores), manuseio dos equipamentos ,ferramentas utilizadas para preparação dos cabos e conexões, parametrização do inversor on grid, ensaios de comissionamento para certificação do funcionamento previstos pelos fabricantes e normas (ABNT, 2014), bem como o monitoramento da geração. Outro ponto relevante na análise dos resultados é o fato da proximidade com o cenário real de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) com a utilização da bancada proposta, pois conforme levantado nos modelos comerciais os equipamentos já vêm instalados em módulos e com disposição física diferentes de como são instalados em uma situação real, os cabos não possuem conectores conforme modelos específicos (MC4) utilizados e acabam usando uma conectorização inapropriada com o uso de bornes e o inversor on grid não possui um sistema de monitoramento remoto das variáveis elétricas, distanciando assim o discente de uma situação real. Na tabela 7 temos uma comparação entre os modelos comerciais e o modelo da bancada proposta neste trabalho.

Tabela 7 - Comparação entre modelos de bancadas comerciais com a bancada proposta – SFVCR

	BANCADA COMERCIAL Labtronix	BANCADA COMERCIAL CincoLab	BANCADA PROPOSTA
Módulos	Um módulo foto-voltaico de 260W	Um módulo foto-voltaico de 260W	Quatro módulos fotovoltaicos 450W
Suportes de fixação em telhado	Não	Não	Sim
Inversor	Inversor on grid 1000W	Inversor on grid 1000W	Inversor on grid 1500W

Monitoramento remoto	Não	Não	Sim
Manuseio de ferramentas	Não-conexões através de bornes	Não -conexões através de bornes	Sim-conexões através de conexões MC4
Disposição dos equipamentos	Diferente de aplicação em campo	Diferente de aplicação em campo	Conforme normativos- Simulando uma situação real
Telhado didático	Não	Não	Sim
Fonte Luminosa	Torre com Projetor LED - Artificial	Torre com Projetor LED - Artificial	Sol - Natural
Software para projeto	Licença para 20 computadores	Licença para 2 computadores	Não
Práticas	Visualização de funcionamento de módulos fotovoltaicos; Verificação de eficiência do módulo fotovoltaico de acordo com a irradiação e inclinação; Análise de efeitos de sombreamento; Medição de parâmetros elétricos	Visualização de funcionamento de módulos fotovoltaicos; Verificação de eficiência do módulo fotovoltaico de acordo com a irradiação e inclinação; Análise de efeitos de sombreamento; Medição de parâmetros elétricos	Fixação de suportes em telhado para módulos fotovoltaicos; Ligações série, paralelo e Leap-Frog dos módulos fotovoltaicos; Efeitos de sombreamento de acordo com a ligação dos módulos; Montagem de quadros de proteção CC e CA; Fixação de inversor; Lançamento de cabos elétricos; Conectorização com terminais MC4; Testes de continuidade elétrica; Testes de isolamento elétrico do cabeamento; Medições de parâmetros elétricos; Visualização de funcionamento de módulos fotovoltaicos; Verificação de eficiência do módulo fotovoltaico de acordo com a irradiação e inclinação; Análise de efeitos de sombreamento; Configuração de monitoramento remoto
Valor	R\$ 77.065,86	R\$ 235.980,00	R\$ 15.920,40

Fonte: Elaborado pelo autor conforme propostas comerciais recebidas (2023).

Também é importante avaliar o custo das bancadas, pois muitas vezes os laboratórios não possuem uma gama ideal de

equipamentos devido à indisponibilidade de recursos financeiros das instituições de ensino e isto afeta o rendimento dos alunos. Essa estratégia de implementação de uma bancada de baixo custo poderá facilitar o provimento de novas bancadas para o laboratório, principalmente em novos campi sem estrutura laboratorial e com recursos financeiros limitados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quantidade de empresas integradoras no mercado aumentou significativamente, assim como o número de pessoas, trabalhando no setor e com isso a importância para qualificação tem ganhado bastante importância, pois mão de obra sem qualificação poderá reduzir a vida útil dos equipamentos e até ocasionar acidentes.

As bancadas didáticas comerciais encontradas para esse fim são caras e, por vezes, não conseguem replicar as condições do mercado de trabalho ou mesmo fornecer aos alunos o conjunto mais adequado para a construção de novas competências, já a bancada proposta considera o ambiente educacional das aulas teóricas e aspectos práticos. Sendo uma alternativa de baixo custo frente as opções de mercado. A bancada é um primeiro passo para o estudo da geração de energia fotovoltaica.

A estrutura do telhado didático foi pensada para permitir a utilização em trabalhos futuros, como: implementação de bancada didática para sistemas de bombeamento solar e sistemas fotovoltaicos isolados (off grid).

AGRADECIMENTOS

A todos os professores que participaram do curso de especialização em energia solar da UFPI. Em especial ao meu orientador Professor Dr. Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira

Lopes da Silva, pela atenção disponibilizada e que ajudou de forma bastante relevante para que pudesse finalizar esta etapa.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 5410, 2008: Instalações elétricas de baixa tensão, Rio de Janeiro.

ABNT. NBR 16690, 2019: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto, Rio de Janeiro.

ABNT. NBR 16274, 2023: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e validação de desempenho, Rio de Janeiro.

EQUATORIAL PI. NT.001, 2023 – Fornecimento de energia elétrica em baixa tensão, Piauí.

EQUATORIAL PI. NT.020, 2023 – Normas e Padrões Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Distribuição, Piauí.

GHIZONI, J. P. et al. **Sistemas fotovoltaicos: estudo sobre reciclagem e logística reversa para o Brasil**. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/176163>

FGV, **Dados-Matriz energética brasileira**. 2020.

Disponível em: [https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica#:~:text=Matriz%20Energ%C3%A9tica%20Mundial%20\(BP%20Statistical%20Review%202020\)&xt=Os%20energ%C3%A9ticos%20de%20origem%20f%C3%B3ssil,s%C3%A3o%20grandes%20emissores%20de%20GEE](https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica#:~:text=Matriz%20Energ%C3%A9tica%20Mundial%20(BP%20Statistical%20Review%202020)&xt=Os%20energ%C3%A9ticos%20de%20origem%20f%C3%B3ssil,s%C3%A3o%20grandes%20emissores%20de%20GEE)

LOPES, K; MARTINS, E.M.; MIRANDA, R.L. **A Potencialidade Energética da Biomassa no Brasil**. 2019. Disponível em: <http://periodicos.unesc.net/index.php/RDSD>

MORAIS, F.H.M; SILVA, O.A.V.O.L; MORAIS, A.M; BARBOSA, F.R. **Energia Solar Fotovoltaica – Fundamentos de viabilidade técnico-econômica**. Teresina: UESPI,2021. Disponível em: <https://editora.uespi.br/index.php/editora/catalog/book/63>

PEREIRA, N.X. **Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil; geração distribuída vs geração centralizada. Dissertação (Mestrado)**, Sorocaba-SP ,2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/181288>

SATO, MINAILLI HARUMI NEVES. **O papel das energias renováveis no desenvolvimento econômico sustentável. (Trabalho de conclusão de curso)**. Dourados-MS, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/5029/1/MinailliHarumiNevesSato.pdf>

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NO ÂMBITO DA ENERGIA SOLAR PARA O APRIMORAMENTO DA COLETA E ARMAZENAMENTO DE DADOS PARA INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS ATRAVÉS DO APLICATIVO “VISTORIA SOLAR”

Francisco das Chagas Linhares Silva Júnior

Diana Beatriz de Almeida

INTRODUÇÃO

Sem dúvidas, a inovação tecnológica é uma representação concreta e notória da evolução do conhecimento humano no decorrer do tempo, que por sua vez encontra-se em constante processo de desenvolvimento. A energia solar; fonte de energia renovável e limpa, enquadra-se nessa comparação evolutiva mais atual, pois tem a capacidade de transformar a energia solar diretamente em elétrica, sem emitir gases na etapa de transformação de energia, de forma silenciosa e sem parte móveis, utilizando uma fonte limpa, renovável e virtualmente inesgotável. (VIANA et al., 2010).

O Brasil é um país com território de dimensões continentais e possui alto potencial para a produção de energia fotovoltaica em edificações. Além do cenário brasileiro favorável para a aplicação de fontes renováveis, o governo determina através da Lei nº 14.300/2022 e da Resolução Normativa da ANEEL nº 1.000/2021, atualizada pela nº 1.059/2023, a Produção Distribuída de Energia, com todos os requisitos necessários para o acesso ao sistema de distribuição de energia elétrica. (BRASIL, 2022; ANEEL, 2021; ANEEL, 2023).

Atualmente a utilização de softwares na engenharia elétrica, voltada para o setor de energia solar, são indispensáveis, pois, além do auxílio para os profissionais, otimiza o tempo e dá mais confiabilidade ao resultado final, oferecendo mais segurança na obtenção dos dados, bem como facilitando as análises dos processos. Ressalta-se a necessidade do desenvolvimento e implantação de instrumentos tecnológicos e gerenciais que gerem vantagens competitivas para sua distinção positiva. (MAEKOWA, 2014).

Apesar de existir um extremo avanço tecnológico, em muitos casos, as vistorias focadas em futuras instalações fotovoltaicas acontecem de forma manual, ainda com registros em papel, o que acaba sendo um fator negativo para o desenvolvimento do trabalho dos profissionais responsáveis, uma vez que não é raro a perda dos dados, levando-os a refazerem os procedimentos necessários, a fim de executarem o serviço. Registros de acompanhamento de obra e comissionamento também são feitas de formas amadoras e sem documentação adequada para tal ação, deixando que o processo perca o fator indispensável da transparência para a empresa e seus clientes. Buscando contribuir diretamente nesse processo, a proposta propõe avaliar a melhoria da eficiência dessas atividades com implementações tecnológicas, através de um estudo de caso que utiliza um aplicativo desenvolvido pela empresa Exata Engenharia, o Vistoria Solar.

REFERENCIAL TEÓRICO

Homologação de sistemas fotovoltaicos no Brasil

A Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 e atualizada pela nº 1.059/2023, estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. No Art. 386, determina que as distribuidoras devem publicar em seu endereço eletrônico as normas técnicas que tratam do acesso de geração distribuída, utilizando como referência o Módulo 3 do PRODIST. Na seção 3.3, é proposto os requisitos de projeto das instalações de conexão, que definem os itens a serem elaborados, no qual é falado que devem conter um memorial descritivo, bem como relacionar toda a documentação, normas e padrões técnicos utilizados como referência, vide anexos 3A, 3B E 3C do PRODIST. (ANEEL, 2021; ANEEL, 2023; PRODIST, 2000).

Dessa forma, cada distribuidora ou concessionária fica responsável pela elaboração, divulgação e publicação das normas técnicas que definem o acesso de micro e minigeração distribuída, seguindo todas as diretrizes pré-determinadas, obviamente. (ANEEL, 2021; ANEEL, 2023; PRODIST, 2000).

A NT 020 - Conexão de Microgeração distribuída ao Sistema de Distribuição e a NT 021 - Conexão de Minigeração distribuída ao Sistema de Distribuição estabelecem os critérios, padrões e requisitos técnicos mínimos exigidos, para o acesso de unidades consumidoras, novas ou existentes, caracterizadas como microgeração ou minigeração distribuída, na área de responsabilidade da concessionária. (EQUATORIAL, 2022; EQUATORIAL, 2022).

Nos anexos são solicitadas informações como dados do titular da UC, endereço do local de instalação sobre o padrão de entrada e dados gerais dos equipamentos de geração

(inversores, módulos fotovoltaicos e potência da instalação). Essas informações são necessárias para que a concessionária verifique se o fornecimento de energia e o padrão de entrada está adequado para receber o sistema fotovoltaico que se pretende instalar, onde grande parte dessas informações são obtidas através de visitas técnicas no local de instalação. (EQUATORIAL, 2022; EQUATORIAL, 2022).

Quando o parecer de acesso é aprovado e a instalação do sistema fotovoltaico é finalizada, inicia-se o processo de solicitação de vistoria, que consiste na visita dos técnicos da concessionária no local da instalação para verificar se tudo foi executado conforme especificado em projeto aprovado. Para esse processo, algumas informações precisam ser enviadas para a concessionária, como o relatório de comissionamento e fotos da instalação do padrão de entrada e do sistema de geração incluindo gerador e inversor (quando houver). (EQUATORIAL, 2022; EQUATORIAL, 2022).

O relatório de comissionamento, outro documento solicitação para a vistoria da concessionária, consiste na apresentação de medições realizadas na instalação fotovoltaica, comprovando seu correto funcionamento. Este relatório é elaborado conforme ABNT NBR 16274 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Para obtenção desses dados, testes devem ser feitos e coletados na instalação após a finalização da execução, bem como obtenção dos registros fotográficos. (EQUATORIAL, 2022; EQUATORIAL, 2022; ABNT NBR 16274, 2014).

Após seguir todas essas etapas informadas, a equipe técnica da concessionária aprova a instalação e coloca o medidor bidirecional, aprovando o sistema e homologando-o.

A tecnologia como fonte auxiliadora

A inovação tecnológica proporciona uma série de subsídios para uma maior e mais qualitativa forma de coleta e armazenamento de informações, visando aprimorar os serviços prestados e logicamente gerar mais transparência para o trabalho executado diariamente. Para Jost (2010), as informações foram registradas em papel por séculos. Nos últimos oitenta anos, a forma como a informação é registrada mudou, usando fitas magnéticas, microfilmes e disquetes. Daí, surge o suporte digital, que não necessariamente substitui o papel em sua totalidade, mas é visto como um complemento fundamental. (LUCON; GOLDENBERG, 2009; ELGAMAL; DEMAJOROVIC, 2020).

Em plena contribuição com a discussão, Jost (2010, p. 13), discute veementemente que se faz fundamental compreender que:

A globalização e a era da informação propiciam, de maneira não vivenciada em outras épocas, uma vasta quantidade de informações. Uma informação que precisa ser acessada pode ser encontrada de forma mais eficiente com o auxílio de ferramentas computacionais especializadas. As informações contidas em documentos eletrônicos/digitais podem ser visualizadas, por exemplo, em diversos lugares [...]. (JOST, 2010).

Apesar das inovações tecnológicas, percebe-se que grande parte das vitórias que envolvem instalações fotovoltaicas acontecem com o subsídio do registro em papel. O problema maior desse tipo de armazenamento de dados é que a deterioração é rápida, além, é claro, de maior chance de perda. Para Elsenbach (2021, p. 20), o gerenciamento de dados “[...] é uma necessidade para as pessoas e organizações. Tal gerenciamento, necessita de tecnologias que facilitarão processos que visa gerenciar, disseminar e recuperar informações em tempo real e de forma rápida. A

tecnologia é um fator fundamental no processo de recuperação de informação [...]”. A perda de informações gera diversas complicações no desenvolvimento do trabalho, como nítido atraso, pois existirá a necessidade de reiniciar o ciclo de vistoria para que seja possível construir e concretizar um planejamento de execução de serviço. (ELSENBACH, 2021).

Boeres e Arellano (2005), enfatizam que as responsabilidades associadas à preservação digital são: procedimentos para gerenciar e armazenar mídias digitais, copiar as informações nelas contidas, migrar para novas mídias, preservar a integridade das informações digitais, políticas e procedimentos relacionados a manter sua autenticidade e acessibilidade ao longo do tempo. O avanço tecnológico pode ser entendido como um marco na história da humanidade e, assim sendo, utilizá-lo a favor da coleta e armazenagem de dados, tornando-o em uma ação qualitativa para a execução do trabalho. (BOERES; ARELLANO, 2005).

METODOLOGIA

O estudo foi realizado por meio de uma pesquisa bibliográfica e documental, com pesquisa de campo, utilizando-se de questionários aplicados à profissionais do ramo. Os questionários tratavam sobre a forma de registro e armazenamento de procedimentos técnicos realizados em campo antes e depois da utilização do aplicativo.

Como forma de delimitação do trabalho, o desenvolvimento das aplicações será feito considerando apenas as determinações da NT 020 - Conexão de Microgeração distribuída ao Sistema de Distribuição, da concessionária de energia Equatorial Piauí. Dentre as informações fornecidas pela norma técnica, seus anexos I e II corroboram e acrescentam as informações necessárias para obtenção do acesso da microgeração distribuída informadas pelo Módulo 3 do PRODIST.

Elaboração e desenvolvimento do aplicativo mobile

Inicialmente foi verificado a forma utilizada para realização de vistorias em sistemas fotovoltaicos, com intuito de desenvolver um modelo seguro, eficiente e intuitivo. Como observado nas discussões já realizadas, a forma habitual de se obter esses dados não permite isso. Para o desenvolvimento da aplicação era necessária uma plataforma móvel em que os dados pudessem ser inseridos de forma offline, para caso o local de instalação dos equipamentos não tivesse acesso à rede de dados móveis, bem como pudesse obter dados de geolocalização e registros fotográficos. Dessa forma, foi utilizada a plataforma Appgyver, uma ferramenta nocode que não necessita de conhecimento avançado em programação e que atende todos os pré-requisitos estabelecidos.

A estrutura da aplicação foi dividida em três tópicos principais: Visita Técnica, Diário de Obras e Comissionamento. Abaixo, segue a representação de um diagrama da aplicação para melhor entendimento.

Figura 1 - Diagrama da aplicação



Fonte: Do autor (2023).

A visita técnica corresponde a etapa inicial do processo, onde as informações solicitadas nos anexos I e II da NT 020 são cadastradas, além de outras informações necessárias para a correta elaboração do processo e instalação do sistema. Por sua vez, o diário de obra armazena a evolução da obra com informações do dia e registros fotográficos do que foi executado. Por fim, o comissionamento registra os dados de ensaio solicitados para vistoria da concessionária e homologação do sistema.

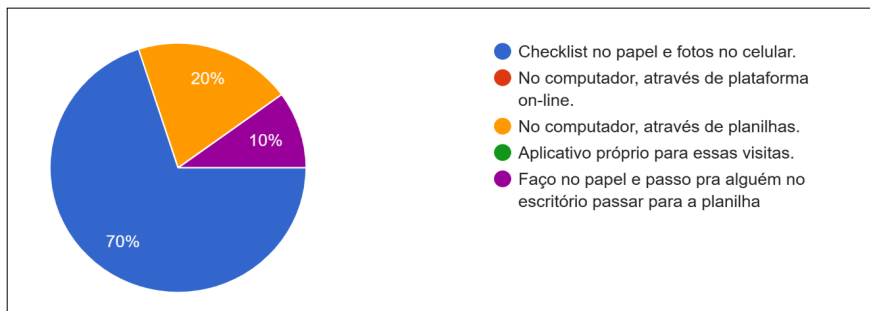
Entrevistas com profissionais de empresas do ramo de energia solar e suas impressões sobre o aplicativo “vistoria solar”

Para compreender com mais ênfase a respeito do processo de coleta e armazenagem de dados gerados por intermédio de vistorias para a futuras instalações fotovoltaicas em um determinado local, além de reunir diferentes opiniões sobre a atuação do aplicativo “Vistoria Solar”, optou-se por aplicar um questionário com perguntas abertas e fechadas com 10 (dez), profissionais que atuam no ramo. Objetivando manter o anonimato da identidade dos entrevistados; estes serão nomeados como: P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 e P10.

RESULTADOS

Conforme dito no capítulo anterior, a pesquisa se baseou em questionários para avaliar o impacto da utilização do aplicativo nas equipes externas das empresas de energia solar. A primeira pergunta realizada foi: **“De que forma a documentação das visitas técnicas são elaboradas na sua empresa? E as informações do relatório de comissionamento?”** O Gráfico 1 (um), expõe os dados coletados.

Gráfico 1 - Porcentagem da escolha do tipo coleta de informações nas vistorias

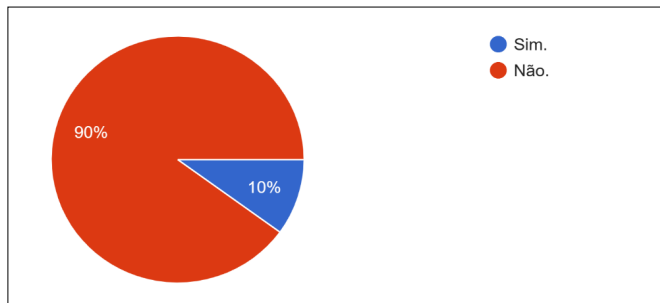


Fonte: Do autor (2023).

Os dados expostos acima demonstram que na maioria das empresas a coleta de dados é realizada através de um checklist impresso e através de fotos no celular, as outras também fazem de forma manual, impressa, mas repassam as informações para o computador, ou seja, ainda não utilizam um sistema mais tecnológico/sofisticado para a execução de tais procedimentos. Conforme expressa Cavalcante (2018), o ser humano desde os seus primórdios sempre buscou encontrar maneiras de armazenamento de dados e informações por meio da escrita em pedras e papel, contudo, tais maneiras ações foram gradativamente superadas graças à clara evolução tecnológica.

Seguindo a sequência das perguntas realizadas, tem-se o seguinte questionamento: **“Atualmente sua empresa elabora documentação do diário de obras?”**. As informações coletadas encontram-se expressamente expostas na estrutura do Gráfico 2 (dois).

Gráfico 2 - Elaboração da documentação do diário de obras

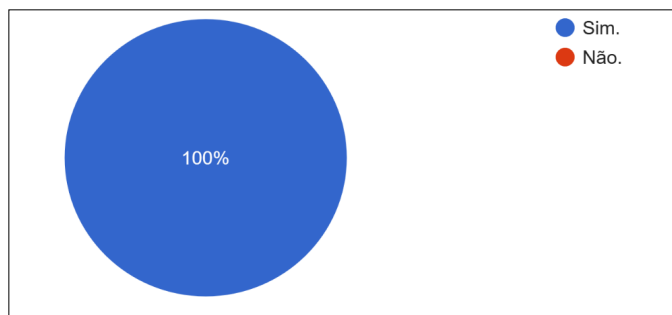


Fonte: Do autor (2023).

De acordo com os dados expostos, a maioria dos profissionais responderam que suas respectivas empresas não elaboram a documentação do diário de obras, havendo apenas envio de fotos, vídeos, textos e áudios em aplicativos de mensagem, sem a devida estrutura adequada, mostrando que esta etapa fundamental da execução não é registrada/armazenada, ou se armazenada, não é feita da melhor forma.

Em sequência, os terceiro e quarto questionamentos objetivaram saber: **“Já ocorreu perda dessas informações por estar em papel e a visita precisou ser refeita?”** e **“Você utilizaria um aplicativo para celular que possa automatizar, gerenciar e guardar esses dados de forma segura?”** As informações coletadas encontram-se expressamente expostas na estrutura do Gráfico 3 (três).

Gráfico 3 - Perca de informações e possível utilização de um aplicativo de celular auxiliador das ações realizadas



Fonte: Do autor (2023).

Verificou-se que todos os profissionais responderam que em suas respectivas empresas já houveram casos de perda de informações de vistorias armazenadas em papel, além de que todos os entrevistados também afirmaram que utilizariam um aplicativo para celular que organizasse e naturalmente aprimorasse esse processo.

O aplicativo Vistoria Solar, surge como um facilitador nessa organização, uma vez que empresas que se utilizam desse aparato tecnológico podem oferecer aos seus profissionais um maior arsenal de ferramentas para a execução mais concreta e prática de seu trabalho, ou seja, o foco é gerar ganho de tempo e segurança na coleta e armazenagem de informações; que poderão ser acessadas de qualquer lugar, aumentando a eficiência e a qualidade dos relatórios das atividades em campo.

Figura 2 - Compilado/demonstrativo de algumas funcionalidades do aplicativo

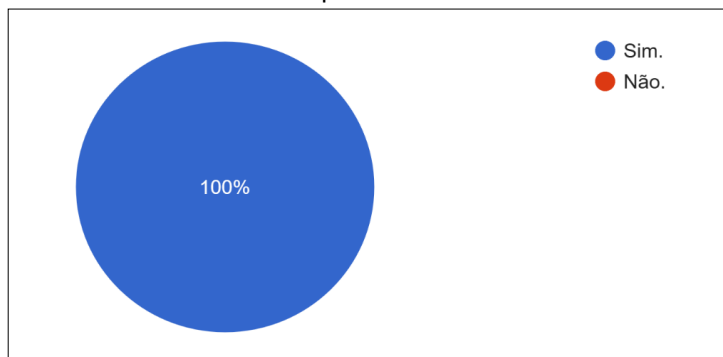
The image shows a mobile application interface with three main sections: **VISITA TÉCNICA** (NOVO RELATÓRIO 1/7), **DIÁRIO DE OBRA** (NOVO DIÁRIO), and **COMISSIONAMENTO** (NOVO COMISSIONAMENTO). Each section has a 'Home' button. The 'VISITA TÉCNICA' section includes fields for 'Vistoriador' (Nome, E-mail) and 'Cliente' (Nome, Telefone, E-mail). The 'DIÁRIO DE OBRA' section includes a 'Data' field, 'Informações do dia', and a 'Registro fotográfico' button with a camera icon. The 'COMISSIONAMENTO' section includes a 'Data' field and a table for 'TENSÃO CA' with columns for 'APENAS REDE' and 'REDE COM INVERSOR'. The table has rows for F1-N (V), F2-N (V), F3-N (V), F1-F2 (V), F1-F3 (V), and F2-F3 (V) for both columns.

Fonte: Do autor (2023).

A tela inicial do aplicativo conta com as subdivisões: **Visita técnica, Diário de obras e Comissionamento**. A figura acima é formada por um compilado que mostra uma tela/recurso disponibilizado pelo aplicativo em cada uma das três opções de registro de trabalho. Ele foi disponibilizado aos profissionais para que pudessem realizar vistorias para que obtivessem mais propriedade no tecer de comentários sobre suas respectivas impressões da referida tecnologia.

Assim sendo, a quinta pergunta buscou saber: **“Após a utilização do App Vistoria Solar; ele atendeu suas expectativas?”** O Gráfico 4 (quatro) detém os resultados.

Gráfico 4 - Porcentagem de expectativas atendidas pelo aplicativo



Fonte: Do autor (2023).

As impressões dos profissionais apontam em sua totalidade que o aplicativo conseguiu atingir suas expectativas, o que pode naturalmente poder ser interpretado como um fator de grande positividade nesse cenário. A sexta pergunta foi uma complementação direta da anterior, questionando: **“Qual sua opinião a respeito das soluções que ele propõe?”**, cujas respostas foram:

Tabela 1 - Opinião sobre as soluções do aplicativo

Usuário	Respostas:
P1	<i>“Principalmente na praticidade na hora da vistoria e também no envio e segurança das informações para o digital”.</i>
P2	<i>“O app Vistoria Solar é muito prático, de fácil manuseio/utilização e atende perfeitamente as necessidades que propõe”.</i>
P3	<i>“Muito prático”.</i>
P4	<i>“Bem intuitivo e prático”.</i>
P5	<i>“Automatiza o processo da vistoria de forma rápida e eficiente”.</i>

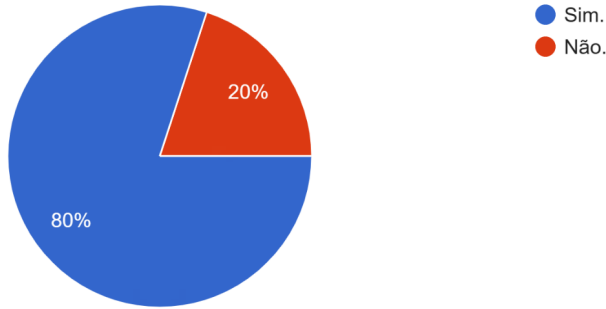
P6	<i>“Conseguí ter o controle melhor do andamento das obras que sou responsável”.</i>
P7	<i>“É bem mais rápido para passar as informações pra central”.</i>
P8	<i>“É fácil de mexer”.</i>
P9	<i>“Prático e rápido”.</i>
P10	<i>“Facilidade em apresentar as informações para os clientes”.</i>

Fonte: Do autor (2023).

Os dados contemplam afirmações de praticidade do aplicativo, além de ser intuitivo, que automatiza os procedimentos de vistoria, trazendo mais eficiência e segurança para coleta e armazenagem de dados. É importante frisar que “[...] a evolução do TI está atrelada aos avanços científicos e tecnológicos na área de informática, às pressões de um ambiente cada vez mais competitivo e às mudanças na própria concepção das estratégias de gestão de negócios”. (PACHECO; TAIT, 2000, p. 99 Apud BRITO, 1997). O foco do aplicativo consiste em oferecer mais praticidade e segurança para o processo das vistorias, para que se obtenha mais tempo para elaborar estratégias que viabilizem o forjar da maior qualidade do trabalho possível.

O sétimo questionamento foi: **“Você pagaria para ter acesso a essa solução?”**

Gráfico 5 – Pagamento pelo aplicativo



Fonte: Do autor (2023).

Dos 80% afirmaram que pagariam, o restante informou que vale a pena, mas que deveria ser um custo da empresa, indicando que estes profissionais realmente gostaram das funcionalidades do aplicativo, mostrado na etapa seguinte. A complementação da pergunta se deu através do comando: **“Explique sua resposta anterior”** e, as obtidas foram as seguintes:

Tabela 2 – Explique sua resposta

Usuário	Respostas:
P2	<i>“A nossa empresa precisa otimizar o seu tempo nas vistorias em campo e o app Vistoria Solar pode proporcionar uma solução prática, rápida, de fácil manuseio/utilização. Com um preço acessível, seria uma boa aquisição”.</i>
P3	<i>“O fato de termos de forma imediata a vistoria, evitando perdas e de forma segura, além do acompanhamento das obras torna o aplicativo interessante para ser adquirido”.</i>
P4	<i>“O fator de dar transparência e andamento das obras para os clientes, além da forma prática de guardar os dados justifica sua compra”.</i>
P6	<i>“Acredito que seja da responsabilidade da empresa a compra, mas utilizaria sempre”.</i>
P7	<i>“O custo deve ser da empresa”.</i>

P9	<i>“Pra ter a segurança de não perder os dados e todos os funcionários terem acesso, vale a pena”.</i>
P10	<i>“Da mais velocidade na elaboração de relatórios e para fazer os projetos”.</i>

Fonte: Do autor (2023).

Os 7 (sete) profissionais que teceram a explicação pedida, julgaram que o aplicativo possui a capacidade de contribuir de maneira pontual no processo de organização e execução do trabalho de suas empresas, respaldando a assistência entregue, que solidifica ainda mais a eficiência desse recurso, mas 2 (dois) ressaltaram que o investimento no software deve ser de responsabilidade da empresa. Sem dúvidas, “[...] para que uma empresa se torne verdadeiramente global, deve fazer uso de uma ampla variedade de tecnologias de informação, minimizando a distância, o tempo e coletivizando o conhecimento entre os funcionários”. (PACHECO; TAIT, 2000, p. 99 Apud DANIELS, 1996).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que as normativas que definem os processos de homologação dos sistemas fotovoltaicos necessitam de diversas informações que devem ser coletadas no local da instalação, há a necessidade da obtenção desses dados de maneira mais eficiente e, considerando as repostas do questionário, verificou-se que o aplicativo Vistoria Solar surge como esse facilitador na coleta e armazenagem de informações obtidas em campo.

Após a disponibilização do aplicativo e a concretização do questionário junto aos 10 (dez) profissionais participantes da pesquisa, foi possível identificar que suas respectivas empresas ainda utilizam o registro impresso para a documentação das vistorias. De acordo com os profissionais, essa forma de registro

é, em grande parte, ineficiente e arriscada, já que a perda dos dados não é algo raro de acontecer, gerando retardo na execução das ações e limitando a qualidade do serviço oferecido. Para os profissionais que contribuíram com a pesquisa, o aplicativo se mostrou muito útil, intuitivo e seguro para o trilhar do percurso de elaboração de relatórios para futuras instalações fotovoltaicas. As impressões dessa tecnologia foram positivas ao ponto da maioria afirmar que pagariam pelo acesso ao aplicativo.

Dessa forma, o estudo verificou que a tecnologia também auxilia e facilita muito no setor de execução (no campo) das empresas de energia solar, coletando as informações de maneira eficiente e dando mais controle de qualidade e gestão das obras. A pesquisa também mostrou que aplicativo Vistoria Solar agrega valor dentro das empresas, pois aumenta a rapidez, qualidade e segurança das vistorias, funcionando como um arcabouço de dados digitais que podem ser acessados/revisados a qualquer momento.

Agradecimentos

A todos os colegas discentes e docentes pelo companheirismo.
A minha orientadora pelos conselhos, paciência e apoio.
E a minha família por todo o apoio de sempre.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR – 16274**. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/3GlyoRx>>. Acesso em: 23 dez. 2022.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2ª. ed. Brasília. 2005.

_____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 1.000/2021**. 07 dez. 2021.

_____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 1.059/2023**. 07 fev. 2023.

APPGYVER. **Plataforma**. 2022. Disponível em: <<https://bit.ly/3VmBEA9>>. Acesso em: 23 dez. 2022.

BOERES, S. A. A.; ARELLANO, M. A. M. **Políticas e estratégias de preservação de documentos digitais**. Brasília, 2005.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 06 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Diário Oficial da União. Brasília, DF, ed. 5, 7 jan., 2022. Seção 1. pg. 4.

BRITO, Mozar José. **Tecnologia da informação e mercado futuro** - O caso da BM&F. Tecnologia da informação e estratégia empresarial. São Paulo: FEA/USP, 1997.

CAVALCANTE, Naje. **Saiba mais sobre a história do armazenamento de dados**. 08 de fevereiro de 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/3jkzyDv>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

DANIELS, J.L. **Visão global**. São Paulo: Makron Books, 1996.

ELGAMAL, G.; DEMAJOROVIC, J. **As barreiras e perspectivas para geração de energia elétrica por painéis solares fotovoltaicos na matriz energética brasileira**. Revista Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 2020.

ELSENBACH, Ana Carolina de Souza. **A importância dos meios de armazenamento de dados para as pessoas e organizações.** TCC, Universidade Federal de Alfenas-MG, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3FRZJcp>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

EQUATORIAL. **Norma Técnica – NT.020.** Conexão de Microgeração distribuída ao sistema de distribuição. Revisão 03 – 2022. Disponível em: <<https://bit.ly/3HZSsKk>>. Acesso em: 24 dez. 2022.

EQUATORIAL. **Norma Técnica – NT.021.** Conexão de Microgeração distribuída ao sistema de distribuição. Revisão 03 – 2022. Disponível em: <<https://bit.ly/3FWkS5f>>. Acesso em: 24 dez. 2022.

JOST, Betina. **Estudo sobre a implantação de sistema de GED para micro-empresa:** o caso de uma empresa gaúcha do ramo alimentício. Monografia, Universidade Federal de Santa Maria. São João do Polêsine, RS, Brasil, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/3vx5fwx>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. **Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil.** Estudos Avançados, v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009.

MAEKOWA, R; MONTEIRO, M; OLIVEIRA, O. J. **Um estudo sobre a certificação ISO 9001 no Brasil: mapeamento de motivação, benefício e dificuldades.** Gestão & Produção, São Carlos, v. 20, n. 4, p.763-779, 2013.

PACHECO, R. C.S; TAIT, T. F. C. **Tecnologia de informação: evolução e aplicações. Teor.** Evid. Econ., Passo Fundo, v. 8, n. 14, p. 97-113, maio, 2000. Disponível em: <<https://bit.ly/3YO02O3>>. Acesso em: 21 dez. 2022.

PRODIST. **Anexo III da Resolução Normativa ANEEL nº 956, de 7 de dezembro de 2021 procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST.** Módulo 3 - Conexão ao sistema de distribuição de energia elétrica, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3YJDJsZ>>. Acesso em: 23 dez. 2022.

VIANA, T. S. et al. **Potencial de geração fotovoltaica com concentração no Brasil.** III Congresso Brasileiro de Energia Solar, 09/2010, Belém. Anais... III. Belém. 2010.

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO PÚBLICA NA CIDADE DE JOSÉ DE FREITAS UTILIZANDO O MÉTODO RTQ-C

Francisco Roger Andrade dos Reis

Fábio Rocha Barbosa

INTRODUÇÃO

A energia elétrica é uma das principais fontes de energia do mundo, podendo ser produzida em usinas hidrelétricas, eólicas, solares, nucleares, termoelétricas e outras. O uso dessa energia está presente desde atividades mais simples de uso residencial como em atividades mais complexas de uso industrial.

Devido ao aumento populacional e os impactos ambientais causados pela humanidade, as últimas décadas têm trazido diversos desafios que exigem pesquisas e desenvolvimentos de fontes alternativas de energia. (Martins *et al.*, 2020). Entre esses desafios está o crescimento da demanda por energia elétrica que aumenta em ritmo mais acelerado do que a geração de energia (Nunes e Fritzen, 2020) e o aumento do valor de tarifas

característico do setor brasileiro (Oliveira, Oliveira e Freitas, 2020).

Esses fatores têm contribuído para a expansão do conceito de sustentabilidade, que surge como uma possibilidade de realizações de edificações com maior eficiência energética. A junção do uso de fontes renováveis de energia com soluções que promovem menor consumo de energia em construções contribuem para melhorias no consumo energético nacional (Oliveira, Oliveira e Freitas, 2020).

No Brasil, já existem programas focados em atender à necessidade de energia elétrica promovendo o uso eficiente dessa energia e combatendo seu desperdício, por exemplo, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e mais voltado para edificação existe o PROCEL Edifica que promove o uso racional da energia elétrica em edificações (d’Albuquerque, Silva e Gomes, 2017).

O PROCEL Edifica desenvolveu através do Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações (PBE Edifica) o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e Requisito de Avaliação da Conformidade para Edificações (RAC) (Resende, 2018).

O RTQ-C expõem o procedimento para obtenção de níveis de eficiência energética dos estabelecimentos. Isso possibilita receber a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A ENCE leva em consideração 3 sistemas, a envoltória, a iluminação e o condicionamento de ar.

Para obter essa etiqueta é necessário recorrer a um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA), esses organismos podem ser de direito público ou privado, são reconhecidos formalmente pela Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO (Resende, 2018). A ENCE pode ser obtida para todos os sistemas

em conjunto (ENCE geral), ou para diferentes combinações entre os sistemas ou somente para a envoltória da edificação (ENCE parcial).

Este trabalho tem o objetivo de analisar e classificar o nível de eficiência energética do edifício público Maria Assunção Furtado de Vasconcelos (localizado em José de Freitas), utilizando a metodologia do RTQ-C para a determinação da ENCE geral, investigando a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar do edifício.

O desenvolvimento deste estudo está dividido em 3 partes: a primeira parte descreve os procedimentos para a classificação da eficiência energética segundo o RTQ-C, a segunda especifica a aplicação da metodologia do RTQ-C no edifício escolhido e a terceira parte apresenta as conclusões obtidas e sugestões para trabalhos futuros.

MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C

Para se determinar a eficiência de edificações é necessário realizar uma avaliação através do desempenho do consumo estimado de energia primária (energia elétrica somada a energia térmica, transformadas a partir dos seus fatores de conversão) e o seu potencial de geração local de energia renovável.

Por meio do RTQ-C é possível determinar o consumo energético dos sistemas da edificação. Levando-se em consideração o sistema de condicionamento de ar, sistema de iluminação (também do consumo do sistema de aquecimento de água e do consumo de equipamentos) e a envoltória.

Aqui está detalhado cada um dos sistemas avaliados: sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar e envoltória, quais os pré-requisitos precisam ser atendidos em cada um desses sistemas e os procedimentos para se determinar a eficiência de cada sistema o que permite a classificação geral do edifício.

O sistema de iluminação

Pré-requisitos. Quanto mais elevado o nível de eficiência, maior o número de pré-requisitos a serem atendidos.

Para ser classificado no Nível A, os pré-requisitos são: divisão de circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação. Para ser classificado no Nível B é necessário possuir: divisão dos circuitos e contribuição da luz natural. Para ser classificado no Nível C, o pré-requisito é: divisão dos circuitos.

Na divisão de circuitos para ambientes fechados por paredes ou divisórias até o teto é obrigatório possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna do ambiente. Para ambientes com menos de 250 m² é necessário possuir pelo menos um dispositivo de controle manual. Para ambientes com mais de 250 m² e menos de 1000 m², os dispositivos instalados devem controlar uma área de até 250 m². Para ambientes com mais de 1000 m², os dispositivos instalados devem controlar uma área de pelo menos 1000 m².

Sobre a contribuição da luz natural, quando há luz natural suficiente para fornecer a iluminação adequada para o plano de trabalho, é necessário que as luminárias próximas às janelas possuam um dispositivo de desligamento independentemente do restante do sistema. Observação: isso serve para reduzir o uso da iluminação artificial e as luminárias não precisam estar alinhadas entre si, mas é necessário que o circuito esteja alinhado às janelas.

No desligamento automático em ambientes maiores que 250m² é necessário um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação. Isso evita ambientes desocupados com iluminação artificial acesa. Esse desligamento automático não exclui a necessidade de existir um controle manual no ambiente permitindo ao ocupante a escolha do uso.

Determinação da eficiência. Para avaliar o sistema de iluminação, o método escolhido depende das atividades desenvolvidas na edificação. Existem dois métodos: o método da área da edificação que avalia o sistema de iluminação de maneira geral e o método das atividades da edificação que considera cada ambiente e seu uso de forma individual. O método das atividades da edificação foi o método escolhido. Esse método avalia a densidade de potência limite em função dos espaços internos dos ambientes, levando-se em consideração as atividades desempenhadas.

O procedimento é o seguinte: calcula-se a potência limite para o edifício que é o somatório das potências limites de cada atividade; após identificar as atividades, consulta-se a densidade de potência de iluminação (DPIL – W/m^2) para cada nível de eficiência conforme Tab. 1 fornecida pelo RTQ-C (2017); depois multiplica-se a área iluminada (A) pela DPIL e por fim soma-se as potências limites, vide Eq. 1.

Tabela 1 - Densidade de potência limite para cada atividade

Ambientes/Atividades	DPIL Nível A (W/m^2)	DPIL Nível B (W/m^2)	DPIL Nível C (W/m^2)	DPIL Nível D (W/m^2)
Banheiros	5	6	7	8
Centro de Convenções - Espaço de exposições	15,6	18,72	21,84	24,96
Circulação	7,1	8,52	9,94	11,36
Cozinhas	10,7	12,84	14,98	17,12
Depósitos	5	6	7	8
Escritório	11,9	14,28	16,66	19,04
Sala de espera, convivência	6	7,2	8,4	9,6
Sala de Reuniões, Conferência, Multiuso	11,9	14,28	16,66	19,04
Esportes de ringue	28,8	34,56	40,32	46,08
Vestiário	8,1	9,72	11,34	12,96

Fonte: Adaptado de RTQ-C (2017)

A Tab. 1 mostra apenas os ambientes que foram analisados no edifício.

$$P_L = \sum_1^n A_n \cdot DPI_{Ln} \quad (1)$$

Compara-se a potência total instalada. Após, identifica-se o EqNumDPI (número equivalente, vide Eq. 2) do sistema de iluminação: calcula-se a potência instalada no edifício e então compara-se com a potência limite do edifício, vide Eq. 1. Cada lâmpada possui um EqNum que é o número representativo da eficiência de um sistema

$$EqNumDPI = \Sigma \frac{(Potência\ das\ lâmpadas \cdot EqNum)}{Potência\ das\ lâmpadas} \quad (2)$$

Após isso, é necessário verificar se todos os pré-requisitos foram atendidos em todos os ambientes. Se algum pré-requisito não for atendido em algum ambiente, o EqNum deverá ser corrigido por meio de ponderação.

O sistema de condicionamento de ar

Pré-requisitos. Para condicionamento de ar há apenas pré-requisitos específicos para nível A, caso não se adequar não pode ser nível A.

O 1º pré-requisito é o isolamento térmico para tubulações, nesse caso as tubulações devem possuir espessuras mínimas para isolamento, conforme Tab. 2.

Tabela 2 - Espessura mínima de isolamento de tubulações para sistemas de refrigeração (água gelada, brine e refrigerante)

Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento		Diâmetro nominal da tubulação (mm)				
	Condutividade térmica (W/m.K)	Temperatura de ensaio (°C)	< 25	25 a < 40	40 a < 100	100 a < 200	≥ 200
4 < T < 16	0,032 a 0,040	24	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5
T < 4	0,032 a 0,040	10	1,5	2,5	2,5	2,5	4

Fonte: RTQ-C (2017)

O 2º pré-requisito é com relação ao condicionamento de ar por aquecimento artificial, esse deve atender indicadores mínimos de eficiência energética.

Determinação da eficiência. O nível de eficiência de um sistema de condicionamento de ar depende de pré-requisitos específicos e do nível de eficiência do equipamento. Os sistemas (condicionadores de ar de janela e *split*), avaliados pelo PBE/INMETRO, são classificados por meio do nível de eficiência que o Inmetro atribui para cada modelo.

Verifica-se a classe de eficiência dos condicionadores de ar no *site* do Inmetro. Adota-se a classificação da ENCE obtida nas tabelas do PBE/Inmetro, identificando o coeficiente de eficiência energética da máquina.

A classificação do sistema de condicionamento de ar permite classificações parciais, ou seja, classificar somente uma sala, um conjunto de salas, uma parte do edifício. Caso haja mais de um sistema independente, os níveis de eficiência devem ser encontrados e seus equivalentes numéricos conforme Tab. 3, ponderados pela capacidade de cada sistema, vide Eq. 3 e estimar o equivalente numérico final envolvendo todos os sistemas de condicionamento de ar.

Tabela 3 - Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: RTQ-C (2017)

$$EqNumCA = \sum_{n=1}^x \left(EqNumCA_n \frac{Cap_n}{Cap_t} \right) \quad (3)$$

EqNumCA representa o equivalente numérico final do sistema de condicionamento de ar, *EqNumCA_n* representa o equivalente numérico de cada equipamento, *Cap_n* é a capacidade em BTU/h de cada equipamento, *Cap_t* é a capacidade em BTU/h de todos os equipamentos. Assim, encontra-se o valor do nível de eficiência para o sistema de condicionamento de ar. O resultado ponderado é comparado na tabela de classificação (Tab. 3).

Envoltória

Pré-requisitos. A envoltória precisa atender pré-requisitos específicos para ser classificada em relação ao nível de eficiência adequado. Para ser considerado nível A ou B, os pré-requisitos são: transmitância da cobertura e paredes exteriores, cores e absorvância de superfícies e iluminação zenital. Para ser considerado nível C ou D, só há um pré-requisito: transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores.

A transmitância térmica exige diferentes limites de propriedades térmicas para coberturas e paredes. É avaliada separadamente para cada ambiente e os dois casos (paredes

e coberturas) devem ser atendidos. A transmitância térmica a ser considerada para a avaliação de pré-requisito é a média das transmitâncias de cada parcela das paredes, ou cobertura, ponderadas pela área que ocupam.

Sobre as cores e absorvância de superfícies, a cor é utilizada como indicação da absorvância caso haja possibilidade de medição, a absorvância também pode ser obtida com a especificação dos fabricantes de tintas e revestimentos. Cores mais claras possuem absorvância mais baixa e cores mais escuras possuem absorvâncias mais altas.

Em relação a iluminação zenital, as aberturas zenitais permitem que a luz natural penetre nos ambientes internos, isso concede a redução no consumo de eletricidade em iluminação. Mas a entrada de luz natural não pode implicar simultaneamente em uma elevação da carga térmica por meio da radiação solar, logo, isso deve ser contado no projeto.

Determinação da eficiência. Os limites numéricos dos pré-requisitos para a envoltória são apresentados na Tab. 4.

Tabela 4 – Limites numéricos dos pré-requisitos específicos para envoltória

Nível	U cobertura (W/m ² K)		U parede (W/m ² K)		Absorvância	
	Ambiente condicionado	Ambiente não condicionado	Capacidade térmica (Ct) até 80kJ/m ² K	Capacidade térmica (Ct) maior que 80kJ/m ² K	Parede	Cobertura
A	1	2	2,5	3,7	0,5	0,5
B	1,5	2	2,5	3,7	-	0,5
C e D	2	2	2,5	3,7	-	-

Fonte: Adaptado de RTQ-C (2017)

Nas duas primeiras colunas encontra-se os limites para a transmitância da cobertura, nas duas próximas os limites para a transmitância da parede e nas duas últimas para a absorvância.

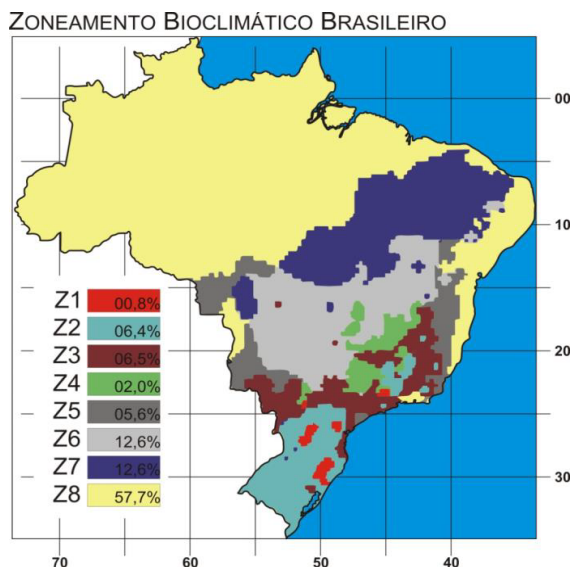
A transmitância térmica é a média ponderada das diversas transmitâncias existentes quando a cobertura é composta por diferentes materiais e por conseguinte por diferentes transmitâncias. Observação: devem ser consideradas apenas as transmitâncias de superfícies em contato com área interna, superfícies como platibandas não são adotadas nesse cálculo.

A absorvância a ser considerada é a média das absorvâncias de cada parcela das paredes, ou cobertura, ponderadas pela área que ocupam.

A iluminação zenital não será levada em consideração porque o edifício não possui esse tipo de abertura.

Para calcular a eficiência é necessário entender o conceito de zona bioclimática. O Brasil é composto por 8 zonas bioclimáticas (Fig. 1), essas zonas servem para determinar as estratégias que um edifício deve seguir para obter conforto térmico dos seus ocupantes.

Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: RTQ-C (2017)

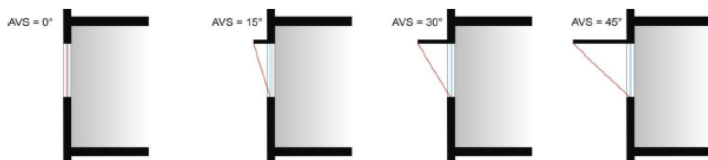
O edifício objeto de estudo encontra-se na zona bioclimática 7 (Z7). Para se determinar a eficiência associada utiliza-se a Eq. 4, que é adotada para áreas menores ou iguais a 500 m² e apresenta um limite de fator de forma máximo (FF) de 0,60.

$$I_{C_{env}} = 32,62.FA - 580,03.FF - 8,59.PAF_T + 18,48.FS - 0,62.AVS - 0,47.AHS + 200,0 \cdot \frac{FA}{FF} - 192,5.FA.FF + 70,22.FF.PAF_T - 0,55.PAF_T.AHS + 318,65 \quad (4)$$

Em que:

- AVS (°) é o ângulo vertical de sombreamento, é formado entre dois planos, o primeiro é o plano horizontal (proteção solar) na parte superior da abertura, o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da abertura. Alguns exemplos de medições de AVS (Fig. 2):

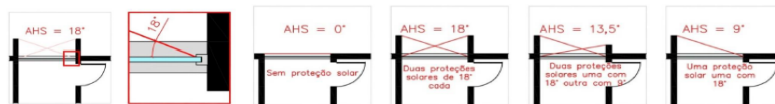
Figura 2 - Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS)



Fonte: RTQ-C (2017)

- AHS (°) é o ângulo horizontal de sombreamento, é formado entre dois planos verticais, o primeiro plano está de um lado da abertura, o segundo é formado pela extremidade oposta da abertura (outro lado). O AHS deve ser considerado nos dois lados da abertura, já para o AHS de abertura é calculado como média do ângulo das duas proteções solares, conforme mostra a Fig. 3.

Figura 3 - Ângulos Horizontais de Sombreamento



Fonte: RTQ-C (2017)

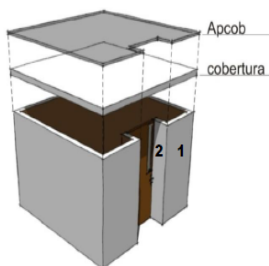
Observação:

Caso o valor de AHS e AVS ponderado for maior que o limite, deve-se usar 45° no cálculo do indicador de consumo (IC.).

- FF é o fator de forma, é a razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação (A_{env}/V_{tot}). Observação: A_{tot} (m^2) é a área total construída e A_{env} (m^2) é a área da envoltória e corresponde a soma das áreas das fachadas, empenas e cobertura, incluindo as aberturas.

- FA é o fator de altura, é a razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (A_{pcob}/A_{tot}). Observação: V_{tot} (m^3) é delimitado pelos fechamentos externo do edifício, excetuando-se os pátios internos descobertos. A_{pcob} (m^2) é a área da projeção horizontal da cobertura, nesse inclui-se terraços cobertos ou descobertos, porém exclui-se marquises e coberturas sobre varandas (a última se estiver fora do alinhamento do edifício), por exemplo, na Fig. 4.

Figura 4 - Definição da área utilizada para área de cobertura e área da projeção de cobertura



Fonte: RTQ-C (2017)

- FS é o fator solar, razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) o fator solar de elementos transparentes ou translúcidos pode ser calculado pela Eq. 5.

$$FS_T = U * \alpha * R_{se} + \tau \quad (5)$$

O FS_T é o fator solar de elementos transparentes ou translúcidos [$J/m^2.K$]; U é a transmitância térmica do componente [$W/(m^2.K)$]; R_{se} é a absorptância à radiação solar, τ é a resistência superficial externa [$(m^2.K)/W$] e α é a transmitância à radiação solar. É necessário que os dados sejam medidos ou sejam fornecidos pelo fabricante para se obter o FS. Normalmente são representados em porcentagem, mas para o RTQ-C deve-se adotar o número fracionário.

- PAFt (% , para a equação é adimensional) é o percentual de área de abertura na fachada total, é calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada pela área total de fachada da edificação. É exclusiva para aberturas em paredes verticais com inclinação superior a 60° em relação ao plano horizontal (exemplos: janelas tradicionais, portas de vidro ou *sheds*, mesmo estes últimos localizados na cobertura).

- O indicador de consumo da envoltória (ICenv, adimensional) obtido é comparado a uma escala numérica, essa escala é dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de A a E. A envoltória será mais eficiente quanto menor for o indicador obtido. A escala numérica da classificação de eficiência é variável e deve ser determinada para cada volumetria de edifício através dos parâmetros.

Para a classificação utiliza-se os procedimentos a seguir:

- a. calcular o indicador de consumo (ICenv) com os dados do projeto do edifício;
- b. calcular o limite máximo do indicador de consumo para aquela volumetria (ICmáxD) através da Eq. 4, mas com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tab. 5.

Tabela 5 - Parâmetros do ICmáxD

PAFt	FS	AVS	AHS
0,6	0,61	0	0

Fonte: RTQ-C (2017)

- c. calcular o limite mínimo (ICmín) por meio da Eq. 4, com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tab. 6; o ICmín representa o indicador de consumo mínimo para aquela volumetria;

Tabela 6 - Parâmetros do ICmín

PAFt	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Fonte: RTQ-C (2017)

- d. os limites ICmáxD e ICmín representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se encontrar. O intervalo é dividido em 4 partes (i), cada parte se refere a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de A a E. A subdivisão i do intervalo é calculada com a Eq. 6;

$$i = \frac{(IC_{máxD} - IC_{mín})}{4} \quad (6)$$

- e. preencher a Tab. 7;

Tabela 7: Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

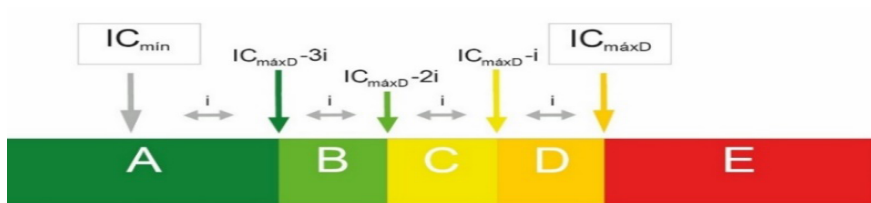
Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$IC_{máxD} - 3i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD} + 0,01$
PAFt	$IC_{máxD} - 3i$	$IC_{máxD} - 2i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD} -$	-

Fonte: RTQ-C (2017)

f. comparar o IC_{env} obtido com os limites da Tab. 7 e identificar o nível de eficiência do projeto em questão.

O $IC_{máxD}$ é o limite entre os níveis D e E, os demais níveis são determinados pela Tab. 7, e o $IC_{mín}$ encontra-se dentro do nível A e é utilizado para calcular os limites dos diversos níveis, porém não limita diretamente nenhum nível de eficiência, conforme Fig. 5.

Figura 5 - Ilustração do cálculo do IC



Fonte: Adaptado de RTQ-C (2017)

Como já citado, os indicadores de consumo $IC_{máxD}$, e $IC_{mín}$ formam um intervalo (i) a ser dividido em quatro partes iguais.

Outros

Pré-requisitos “finais” para obtenção da classificação geral nível

A. Outro pré-requisito a ser analisado é a separação de circuitos elétricos por uso final.

Bonificação. Iniciativas que aumentam a eficiência da edificação poderão receber até um ponto na classificação geral, porém essas iniciativas deverão ser justificadas e a economia deverá ser comprovada. Alguns exemplos:

- Sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água (usos de sensores, aproveitamento de água pluvial), devem proporcionar uma economia mínima de 40% no consumo anual da água do edifício;
- Sistemas ou fontes renováveis de energia por meio de energia eólica ou energia solar (proporcionando economia de pelo menos 10% no consumo anual de energia elétrica) ou aquecimento solar de água (para edificações que demandam muita água, e o atendimento com fração solar seja de no mínimo 70%);
- Sistemas de cogeração e inovações técnicas ou de sistemas (por exemplo, iluminação natural que proporcione economia de 30% anual do consumo de energia elétrica).

Determinação geral da eficiência do edifício. A classificação geral do edifício é calculada pela Eq. 7

$$PT = 0,30 * \left\{ \left(EqNumEnv * \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV \right) \right\} + 0,3 * EqNumDPI + \\ + 0,4 * \left\{ \left(EqNumCA * \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV \right) \right\} + b \quad (7)$$

Em que:

- EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória;
- EqNumDPI é o equivalente numérico do sistema de iluminação;
- EqNumCA é o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;
- EqNumV é o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;
- APT corresponde a área útil dos ambientes de permanência transitória se não forem condicionados;
- ANC é a área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada;
- AC corresponde a área útil dos ambientes condicionados;
- AU é área útil;
- b é pontuação obtida pelas bonificações, varia de zero a 1.

Depois compara-se o resultado obtido na Tab. 8.

Tabela 8 – Classificação final

Classificação geral	PT
A	maior que 4,5 até 5
B	maior que 3,5 até 4,5
C	maior que 2,5 até 3,5
D	maior que 1,5 até 2,5
E	menor que 1,5

Fonte: adaptado de RTQ-C (2017)

Dessa maneira foi obtida a classificação geral da edificação.

APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C NO LOCAL DE ESTUDO

O local escolhido para etiquetar foi o edifício Maria Assunção Furtado de Vasconcelos localizado na cidade de José de Freitas ($4^{\circ}45'33''S$ e $42^{\circ}34'22''W$) no Piauí (Fig. 6). Nesse prédio atualmente funcionam 4 secretárias municipais, uma loja de artesanato e um espaço para um projeto social de luta. Esse trabalho foca nas 4 secretárias e nas salas pertencentes a essas, são elas: Secretaria Municipal de Assistência Social e Cidadania (SEMAC), a Secretaria da Juventude, a Secretaria de Cultura e a Secretaria de Esportes, da planta da Fig. 7, exclui-se as áreas abertas e a loja de artesanato.

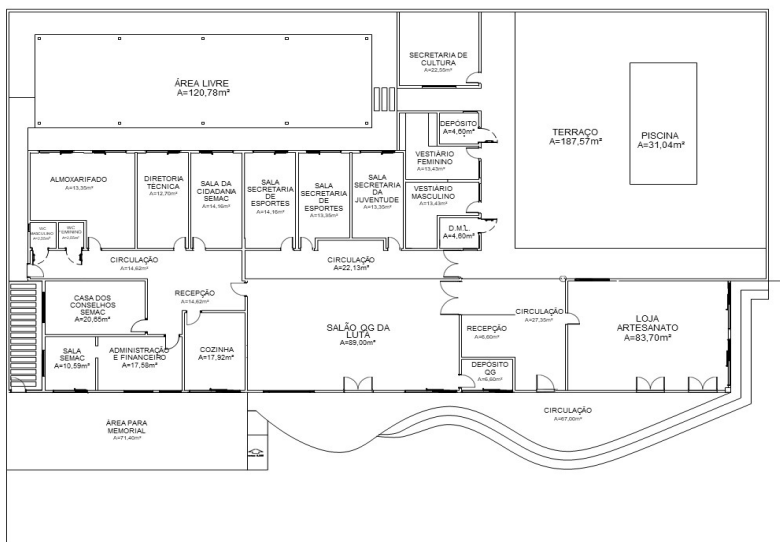
Utilizando o RTQ-C no sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar e envoltória, visa-se determinar a ENCE parcial de cada sistema e a ENCE geral para avaliar o nível de eficiência da edificação.

Figura 6 – Edifício Maria Assunção Furtado de Vasconcelos



Fonte: autoria própria

Figura 7 – Planta do edifício Maria Assunção Furtado de Vasconcelos



Fonte: autoria própria

Em cada um dos sistemas avaliou-se o cumprimento dos pré-requisitos e calculou-se o nível de eficiência, encontrando uma ENCE parcial para cada sistema.

Sistema de iluminação

Foram feitas visitas ao local, coletadas informações da quantidade de lâmpadas, potência de cada uma, e observação quanto ao cumprimento de pré-requisitos.

Levando-se em consideração o RTQ-C para iluminação, obteve-se a Tab. 9.

Tabela 9 – Etiquetagem para o sistema de iluminação

Área m ²	Potência das lâmpadas	Potência limite A (W)	Potência limite B (W)	Potência limite C (W)	Potência limite D (W)
377,82	1176	5198,591	6238,309	7278,027	8317,746

Fonte: autoria própria

Isso classifica o edifício no nível A, porém em algumas áreas o edifício não cumpre o requisito de contribuição de luz natural, o que o classifica como nível C. Então foi feita uma ponderação e pela Eq. 2 encontrou-se o valor de 3,86 o que classifica o sistema como C.

Sistema de condicionamento de ar

Da mesma forma que o sistema de iluminação, foram feitas visitas ao local para coletar as informações técnicas de cada equipamento de condicionamento de ar, por meio de etiquetas (selo PROCEL) e manuais, obteve-se a potência de cada equipamento em BTU/h.

Utilizando a Eq. 4 e Tab. 3 obteve-se a Tab. 10.

Tabela 10 – Etiquetagem para o sistema de condicionamento de ar

Área total (m ²)	Capacidade total instalada btu/h	EqNum X potência total	EqNumCA
207,11	120000	600000	5,00

Fonte: autoria própria

Isso classificaria o edifício em nível A. Porém como há pré-requisito que não pode ser verificado, inclui-se o edifício em nível B.

Para o edifício não foi possível verificar o cumprimento dos pré-requisitos, já que o sistema de tubulação é interno (dentro

das paredes) o que inviabiliza o acesso e não possui equipamentos para aquecimento.

Envoltória

Assim como os outros dois sistemas, para a envoltória foram feitas estimativas, por meio das plantas disponibilizadas em *AutoCAD* para verificar os pré-requisitos e permitir calcular a eficiência do sistema.

O edifício foi construído com tijolo, argamassa e pintado e sua cobertura é composta por forro de gesso e telha cerâmica. Segundo o RTQ-C, para essa parede o limite de transmitância (U) é $2,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ e a capacidade térmica (Ct) é 150, para a cobertura $U = 1,94$ e $Ct = 37$.

A Tab. 11 apresenta os valores da absorptância para radiação solar das superfícies do edifício.

Tabela 11 – Absortância para radiação solar

Superfície	Absortância (α)
Concreto aparente	0,65
Vidro incolor	0,06
Telha de barro	0,75
Pintura branca	0,2

Fonte: Adaptado de RTQ-C (2017)

Todas essas informações são suficientes para classificar a envoltória em nível C.

Por meio de medições no local do edifício, considerações e utilizando o RTQ-C para envoltória, foram determinados os valores de acordo com a tabela 12.

Tabela 12 - Cálculo do ICenv

FA	FF	PAFT	FS	AVS	AHS
0,42683209	0,60	0,028178	1	0,18	0,6

Fonte: autoria própria

Utilizando a Eq. 4 obteve-se o ICenv = 96,5587476, fazendo os cálculos e utilizando a Tab. 8, obteve-se a Tab. 13.

Tabela 13 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim min	-	95,89085	96,48347	97,0761	97,66872
Lim max	95,88085	96,47347	97,0661	97,65872	-

Fonte: autoria própria

Desse modo, mesmo usando a ponderação, a envoltória é classificada como nível C.

Eficiência geral

Os resultados das eficiências calculadas para os três sistemas encontra-se na Tab. 14.

Tabela 14 - Classificação parcial

Sistema	Sigla	EqNum aproximado	Etiqueta
Iluminação	EqNumDPI	3	C
Condicionamento de ar	EqNumCA	4	B
Envoltória	EqNumEnv	3	C

Fonte: autoria própria

Utilizando a Eq. 7, os dados da edificação e a Tab. 14, encontrou-se o valor de 2,07. Comparando-se com a Tab. 8, o edifício classifica-se como nível D.

A ENCE para edificações contém os níveis parciais (classificação do sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar e envoltória) e final (classificação geral) da edificação, podendo ser classificado de A, que é o nível mais eficiente, até E, que é o nível menos eficiente.

No Piauí já existe prédio com classificação A, recentemente, o Ministério Público do Estado do Piauí (MPPI), sede em Teresina, submeteu ao INMETRO projetos de eficiência energética para receber a ENCE dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, os projetos receberam selo A do programa de etiquetagem PBE EDIFICA.

Alguns órgãos já estão esforçando-se para diminuir o consumo de energia, aumentar a eficiência e maximizar o conforto, através das edificações. Ao se comparar o edifício em estudo de José de Freitas percebe-se o quão longe ele se encontra dos níveis mais altos de eficiência, já que ele possui nível D, enquanto existem prédios como o MPPI que estão buscando a classificação A.

Possíveis soluções para aumentar o nível de eficiência do edifício são desenvolvimento de novos projetos dos sistemas de iluminação e sistema de condicionamento de ar, visando a substituição dos aparelhos de ar-condicionado e substituição das lâmpadas com o objetivo de gerar maior economia de energia, assim como ocorreu no prédio do MPPI. Outra solução é a implantação de um sistema com geração de energia solar, já que o RTQ-C prevê bonificação em edificações que possuem iniciativas que aumentem o nível de eficiência.

CONCLUSÃO

O aumento da eficiência energética implica no menor uso de recursos naturais para gerar energia, reduz perdas, minimiza crises energéticas e diminui impactos negativos ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho foi analisar e classificar o nível de eficiência energética do edifício público Ana Maria Assunção de Vasconcelos, que está localizado na cidade de José de Freitas, por meio do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais de Serviços e Públicos (RTQ-C). O RTQ-C apresenta procedimentos para alcançar níveis mais elevados de eficiência energética em edifícios e a obtenção de etiqueta de eficiência.

Foram analisados o sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar e a envoltória do edifício. Em cada um desses sistemas foi verificado se cumpriam os pré-requisitos e depois calculou-se as eficiências de cada um e obteve-se uma etiqueta individual para cada sistema, após isso, determinou-se a etiqueta geral para a edificação.

As etiquetas de cada sistema individualmente são apresentadas: C, B, C. A primeira é do sistema de iluminação, a segunda do sistema de condicionamento de ar e a terceira da envoltória. A classificação geral do edifício é D.

Essa etiqueta geral mostra que a edificação possui baixa eficiência e, portanto, o consumo de energia é alto. O RTQ-C bonifica as edificações que possuem iniciativas que aumentem o nível de eficiência, então se a edificação possuísse um sistema fotovoltaico, ao invés de classificação D o edifício seria classificado como C. Porém, mesmo com sistema fotovoltaico instalado, o prédio ainda se encontraria longe do melhor nível de eficiência, o nível A, o que demonstra a necessidade de buscar tornar esse edifício mais eficiente. Observação: a instalação de um sistema fotovoltaico é justificado (mesmo com a etiqueta de eficiência baixa) principalmente porque esse sistema é considerado sustentável, não poluente e permite redução da conta de energia.

Possíveis soluções para tornar esse prédio mais eficiente é o *retrofit* dos sistemas de iluminação e do condicionamento de ar, visando trocar as lâmpadas e os ares-condicionados por aparelhos que gerem menor consumo de energia ou ainda modificações na envoltória, com instalação de claraboias tubular, por exemplo, permitindo a incidência direta de luz natural, contribuindo para a exploração da iluminação zenital (um dos requisitos da envoltória).

No âmbito federal há a instrução normativa N° 2, de 4 de junho de 2014 que dispõem as regras para o uso da ENCE nos projetos de edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit*, essa instrução obriga que novos projetos recebam a etiqueta A. Isso mostra a preocupação com a ampliação de edifícios que consumam menos energia, logo sejam mais eficientes. Essa instrução só se aplica em prédio federal, mas este trabalho revela a necessidade de aplicação também em outras esferas como a municipal.

Como sugestão de trabalhos futuros: o desenvolvimento de um projeto de sistema fotovoltaico para a edificação e uma nova medição após a instalação desse sistema ou uma nova proposta para a envoltória, onde seja possível explorar mais a luz natural, com instalação de janelas de vidro ou de claraboias, ou nova proposta para o sistema de iluminação, objetivando a troca das lâmpadas atuais por lâmpadas mais eficientes.

REFERÊNCIAS

Brasil, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretária de Logística e Tecnologia da Informação. Instrução Normativa N° 2, de 4 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela administração pública federal direta, autárquica e fundacional, e uso da etiqueta nacional de conservação de energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit*. 2014.

Brasil. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria 50, de 01 de fevereiro de 2013. Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços.

Brasil. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria 372, de abril de 2017. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

d’Albuquerque, M. A. N., Silva, R. M., Gomes, M. L. B., 2017. Eficiência energética em uma edificação pública: uma análise das possibilidades. *Sistemas & Gestão*, Vol. 12, No. 4, pp. 462-470, disponível em <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1183> (acesso em 20 de set. de 2022).

Martins, J. G. A., *et al*, 2020. Comparação das eficiências entre sistemas fotovoltaicos instalados na UECE, VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.

Nunes, F. J. M., Fritzen, P. C., 2020. Eficientização Energética do Restaurante Universitário (RU) da UFPR – Centro Politécnico, VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.

Oliveira, D. C. P., Oliveira, M. V. S., Freitas, A. A. A., 2020. Proposta para eficiência energética do campus UFERSA Caraúbas através da substituição de dispositivos e geração de energia de usina solar fotovoltaica, VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.

Resende, J. F. S., 2018. Comparação Qualitativa entre o Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações e Sistema de Certificação Energética dos Edifícios de Portugal: Propostas de Melhorias na Regulamentação Brasileira, Dissertação de Mestrado, PPGEE, UFSJ, São João Del Rei.

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SFCR DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFPI

*Arineu Felix dos Santos
Marcos Antônio Tavares Lira*

INTRODUÇÃO

A geração de energia solar fotovoltaica alcançou o recorde de 179 TWh (aumento de 22%) em 2021 e obteve o segundo maior crescimento absoluto de geração de todas as tecnologias renováveis em 2021, depois do vento (IEA, 2022). Dentre os principais países que contribuíram para esse crescimento, destacam-se a China (38% do total), os Estados Unidos (17%) e a União Europeia (10%).

A energia solar fotovoltaica em 2021, foi responsável por 3,6% da geração global de eletricidade e é a terceira maior tecnologia de eletricidade renovável atrás apenas da energia hidrelétrica e eólica. A cada ano, a energia solar ocupa mais espaço na matriz elétrica mundial e brasileira, em virtude dos avanços tecnológicos, tornando-a uma das opções de menor custo para nova geração de eletricidade em diversos países, e também devido aos diversos benefícios ambientais, econômicos e sociais que estão atrelados

a esta fonte de energia renovável. Tais benefícios abrangem diferentes setores da sociedade como o residencial, a indústria, o comércio, o poder público e o agronegócio, dentre outros.

Essa fonte de energia se destaca ainda por duas vantagens principais: a primeira em relação ao processo de fabricação dos módulos que pode ser feita em grandes plantas, o que permite economias de escala, e a segunda por ser uma tecnologia modular o que a torna uma fonte de energia bastante versátil permitindo ser utilizada em sistemas muitos pequenos, até instalações de geração de energia de escala comercial (IEA, 2022). Essas características intrínsecas da energia solar, permite uma aplicabilidade bastante diversificada como no transporte, na telecomunicação, em equipamentos eletrônicos, em satélites, em áreas rurais e em ações humanitárias.

O Brasil, devido a sua localização geográfica, e por possuir grande parte do seu território entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio, apresenta predominância de clima tropical e recebe altas taxas de radiação solar ao longo de todo o ano, com valores variando de 1.500 a 2.300 kWh/m²/ano, de acordo com a estação e a região. Desta forma, devido as suas características geográficas, o Brasil possui um potencial solar superior a maioria dos países europeus (Pereira et al., 2017; Ferreira et al., 2018).

De acordo o Balanço Energético Nacional (BEN), a geração de energia solar na matriz elétrica brasileira obteve em 2021, uma alta de 55,9%, em relação a 2020 (EPE, 2022). Essa é a maior taxa de crescimento entre as renováveis, sendo que a geração distribuída (GD) já contribui com 53,8% da fonte fotovoltaica no total.

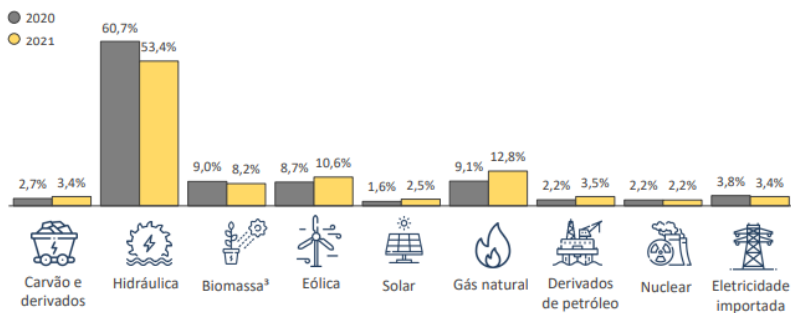
Na Fig. 1 é apresentada a contribuição das diversas fontes de energias na matriz elétrica brasileira. A escassez de chuvas em 2021 provocou uma redução do nível dos reservatórios das hidrelétricas a qual ocasionou uma redução da oferta de energia proveniente de fonte hidráulica. No entanto, essa queda foi compensada pelo aumento da oferta da energia solar, e de outras fontes, como o

carvão vapor (+47,2%), gás natural (+46,2%) e a eólica (+26,7%) (EPE, 2022).

A diversificação da matriz elétrica brasileira possui uma importância estratégica para a garantia de uma maior confiabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN). A predominância da fonte hidráulica, embora limpa e renovável, apresenta fragilidades durante longos períodos de estiagem, devido as sazonalidades do clima, que ao longo do tempo vem se intensificando devido as alterações climáticas e a elevação da temperatura do planeta (Campos, Nascimento, Rütther, 2020).

Em outubro de 2022, a energia solar fotovoltaica superou a marca de 20 GW de potência instalada. No segmento de geração centralizada (GC) são 6,529 GW distribuídos em mais de 13,2 mil parques fotovoltaicos em operação. Com relação a geração distribuída, são 13,721 GW instalados em todos os estados brasileiros, distribuídos na classe de consumo residencial (48,5%), comercial e serviços (30,1%), rural (13,4%), industrial (6,8%), poder público (1,1%), serviço público e iluminação pública (0,2%). A evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil, no período de 2017 a 2022, é mostrada na Fig. 2.

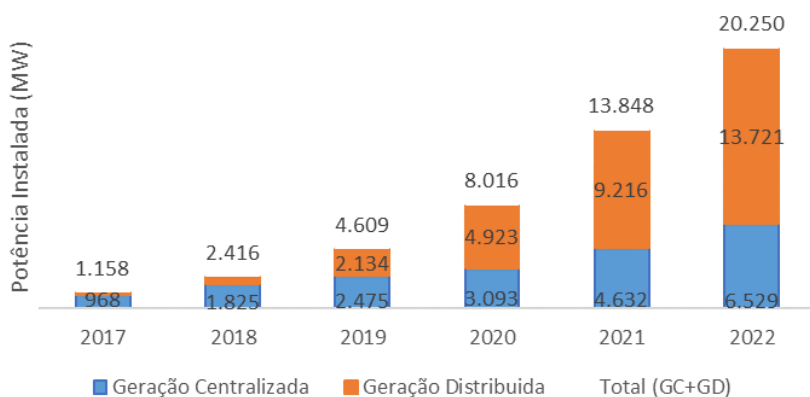
Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira em 2021



Fonte: (EPE, 2022)

Em 2022, 5.498 dos 5.570 municípios brasileiros já contam com ao menos um sistema fotovoltaico instalado em estabelecimentos residenciais, comerciais, rurais, industriais e em prédios e serviços do poder público. Dentre as localidades, os estados com maior potência instalada são Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, Mato Grosso e Santa Catarina, com destaque para os três primeiros que já ultrapassaram a marca de 1 GW em operação (ABSOLAR, 2022).

Figura 2 – Evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil



Com o crescimento exponencial da tecnologia fotovoltaica, cresce também o interesse na realização de estudos que visam analisar o comportamento desses sistemas. Uma das alternativas é comparar os sistemas através de parâmetros padronizados denominados índices de mérito, que foram estabelecidos inicialmente pela Internacional Energy Agency (IEA - PVPS). Os índices de mérito, ou de desempenho, estão relacionados à energia, eficiência, produtividade, desempenho e as perdas do sistema fotovoltaico e permitem comparar o desempenho de sistemas fotovoltaicos de diferentes configurações, potências e tecnologias instalados em regiões geográficas diferentes e com índices de irradiação diferentes (IEA-PVPS, 2014).

Usualmente são utilizados três parâmetros de desempenho para a análise de um SFCR: o yield (η), o performance ratio (PR) e o fator de capacidade (C_f), que estão relacionados a produção de energia, os efeitos das perdas do sistema, e o aproveitamento da radiação solar, respectivamente (Benedito, 2009). Através desses parâmetros é possível detectar, corrigir falhas e problemas operacionais, garantir uma maior confiabilidade, aumentar a credibilidade da tecnologia, promover o aumento contínuo do desempenho desses sistemas, possibilitar melhores decisões e investimentos e reduzir perdas econômicas (Khalid et al., 2016).

Diversos trabalhos são realizados no Brasil e no exterior como o objetivo de analisar e otimizar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Almerão (Almerão et al., 2022), realiza a análise de desempenho de sistemas conectados à rede localizados na Europa e no sul do Brasil. Neves (Neves et al., 2022), compara a performance de sistemas fotovoltaicos terrestres e flutuantes no Paraná. Zomer (Zomer et al., 2020) analisa diferentes sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura através dos índices de mérito.

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, de 2012 a 2022, a energia solar fotovoltaica já proporcionou ao Brasil mais de R\$ 104,3 bilhões em novos investimentos, cerca de R\$ 27,6 bilhões em arrecadação aos cofres públicos, a criação de 607,4 mil empregos, o desenvolvimento de tecnologia para o setor, além de aumentar a segurança energética da matriz elétrica brasileira (ABSOLAR, 2022).

No mundo, o consumo da energia elétrica aumenta proporcionalmente com o crescimento da população e com o desenvolvimento tecnológico. Conseqüentemente, o interesse por novas fontes de energias renováveis é cada vez maior, uma vez que, as fontes de energias não renováveis, oriundas de combustíveis fósseis, são finitas e extremamente poluentes em virtude da emissão de gases como o dióxido de carbono (CO_2), considerado

como o principal causador do aquecimento global e o metano (CH₄), além de outros gases como os óxidos de enxofre e de nitrogênio que causam chuvas ácidas. O efeito estufa provoca diversas alterações climáticas como a elevação da temperatura média do planeta, alterações nos regimes de chuvas, derretimento das calotas polares, elevação do nível dos oceanos, e uma maior frequência de eventos climáticos como furacões, estiagem, incêndios e inundações.

Diante desse cenário, em 2015 a Organização das Nações Unidas (ONU) publicou a “Agenda 2030” que estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para elevar o desenvolvimento no mundo; dentre os quais o ODS7 que trata sobre energia limpa e acessível, tem o objetivo de garantir o acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos (United Nations, 2015b).

Para acompanhar o Cenário de Emissões Zero Líquidas até 2050, a energia solar fotovoltaica, no período de 2022-2030, precisa ter um crescimento médio anual de geração de 25%, o que corresponde a um aumento de mais de três vezes na implantação anual da capacidade até 2030, exigindo uma maior sinergia das partes interessadas públicas e privadas, especialmente nas áreas de integração da rede e mitigação de desafios de política, regulamentação e financiamento (IEA, 2022).

Alinhado com os objetivos da “Agenda 2030” o Brasil assinou em 2016 o Acordo de Paris, assumindo diversos compromissos para a redução das emissões dos gases do efeito estufa, dentre os quais estão zerar o desmatamento ilegal na Amazônia; restaurar e reflorestar florestas e áreas de pastagens degradadas; implementar melhorias na infraestrutura de transportes e no transporte público; incentivar e aumentar a participação de energias renováveis na composição da matriz energética; e alcançar a neutralidade climática em 2060 (Brasil, 2020).

No Brasil, nos últimos 10 anos, estima-se que mais de 28,7 milhões de toneladas de CO₂, deixaram de ser lançadas na atmosfera em virtude dos benefícios oriundos da fonte solar (ABSOLAR, 2022).

O presente artigo tem como objetivo detalhar e avaliar o desempenho dos dois SFCR's instalados no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí, na cidade de Teresina-PI. Serão calculados os valores dos principais parâmetros de desempenho e a energia gerada pelos sistemas nos dois primeiros anos de operação. Adicionalmente, será realizada uma análise considerando a redução na emissão de CO₂ na atmosférica no referido período e o equivalente de árvores preservadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização e descrição dos sistemas

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) estão localizados na cidade de Teresina, Estado do Piauí, Brasil. Estão instalados no telhado do bloco do curso de Engenharia Elétrica no Centro de Tecnologia, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, da Universidade Federal do Piauí - UFPI, e possuem as seguintes coordenadas geográficas (latitude e longitude): 5°3'24.94"S 42°47'56.46"O, conforme podem ser visualizados na Fig. 3.

O bloco do curso de Engenharia Elétrica foi planejado para abrigar salas de aula e de professores, além dos laboratórios de sistemas de energia elétrica, circuitos elétricos, eficiência energética, eletrônica digital e analógica, microcontroladores, controle e telecomunicações, informática, eletrônica industrial e de instalações elétricas que permitem a realização de aulas práticas, capacitação e treinamento de alunos, além do desenvolvimento de projetos de pesquisa e desenvolvimento nos mais variados

ramos da tecnologia. No laboratório de energia elétrica são desenvolvidas pesquisas nas áreas de energia solar, energia eólica, e sistemas elétricos de potência.

O SFCR1 é formado por 114 (cento e catorze) módulos de células monocristalinas de topologia n, de 310 Wp, distribuídos em 06 (seis) arranjos com 19 módulos cada, totalizando 36.480 Wp. As placas solares estão direcionadas para o nordeste e fixadas através de estruturas metálicas no telhado da construção, construído com telhas cerâmicas, e que possui uma inclinação aproximada de 20°. As 06 (seis) strings são conectadas a 03 (três) inversores de 15 kVA cada.

Os módulos de silício monocristalino (m-Si), geralmente de cor azulada brilhante e uniforme, possuem uma organização molecular mais homogênea, alto grau de pureza (99,9999%), e embora possuam uma tecnologia mais tradicional quando comparada com os outros tipos, possuem uma eficiência que varia entre 15% e 24,4%, o que permitem converter mais energia ocupando menos espaço se comparado com as células policristalinas ou de filme fino (Ogbomo, 2017).

O SFCR2 possui 228 (duzentos e vinte e oito) módulos de células policristalinas de topologia n, de 335 Wp, distribuídos em 12 (seis) arranjos com 19 módulos cada, totalizando 76.380 Wp. As placas solares estão direcionadas para o sudoeste e fixadas através de estruturas metálicas no telhado da construção, construído com telhas cerâmicas, e que possui uma inclinação aproximada de 20°. As strings estão conectadas aos inversores da seguinte forma: 08 (oito) strings a 01 (um) inversor trifásico de 60 kVA, e as outras 04 (quatro) strings a 02 (dois) inversores trifásicos de 12 kVA cada.

As células de silício policristalino (p-Si) são formadas por pedaços de cristais, com diferentes tamanhos e orientações, possuem um aspecto visual rugoso, um grau de pureza menor e conseqüentemente uma menor eficiência de conversão de luz

solar em energia elétrica quando comparado as células de silício monocristalino, variando geralmente entre 13% e 19,9%. No entanto, por possuir um processo de produção menos rigoroso, os módulos de silício policristalino possuem a vantagem de ter um custo menor em comparação com o monocristalino (Ogbomo, 2017).

Figura 3 – Vista aérea dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede da UFPI - Campus Universitário Ministro Petrônio Portella – Teresina-PI: (a) SFCR1 e (b) SFCR2



As principais características construtivas e elétricas dos dois sistemas fotovoltaicos instalados no Centro de Tecnologia da UFPI, e que foram analisados no presente artigo, são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1 – Características elétricas dos sistemas SFCR 1 e 2 para as condições de irradiância 1.000 W/m², temperatura de célula 25 °C e espectro AM 1,5

DESCRIÇÃO	SFCR1	SFCR2
Qtd. de Módulos	114	228
Número de Arranjos	6	12
Qtd. de Módulos por Arranjo	19	19
Matéria Prima	Si Monocristalino	Si Policristalino
Fabricante dos Módulos	Sunedison	Canadian Solar
Tensão Nominal de Operação	37,00 V	37,40 V
Tensão de Circuito Aberto	45,90 V	45,80 V
Corrente Nominal de Operação	8,68 A	8,96 A
Corrente de Curto-Circuito	9,26 A	9,54 A
Fabricante do Inversor	Goodwe	Sungrow
Qtd de Inversores	3	1 - 2
Potencia Nominal CA	15 kW	60 kW - 12 kW
Número de MPTT	2	8 - 2
Rendimento Máximo	98,20 %	98,70% - 98,60 %

Parâmetros de desempenho

Os parâmetros que melhor expressam o desempenho de SFCR com características de configuração, tecnologias, localização e potências diferentes são o yield (γ), o performance ratio (PR) e o fator de capacidade (CF). O yield, ou produtividade, é a relação entre a energia elétrica gerada real em um determinado intervalo de tempo e a potência nominal do sistema (Marion et al., 2005), e é calculado através da Eq. (1):

$$YF = \frac{E}{P_{FV}} \quad (1)$$

Já o PR, ou taxa de desempenho, indica a relação entre o desempenho real do sistema e o desempenho do sistema ideal (sem perdas) e pode ser calculado através da Eq. (2):

$$PR [\%] = \frac{YF}{(H_{tot}/G)} \quad (2)$$

em que: Y é a produtividade [kWh/kWp], F é irradiação total em 1 dia [kWh/m²] e G é a irradiância de 1.000 W/m² sob uma distribuição espectral padrão para massa de ar de 1,5 e temperatura da célula de 25°C (condições padrões de ensaio – STC).

O PR permite realizar uma análise das perdas gerais do sistema, sendo que quanto mais próximo o valor é de 100%, menores são as perdas do sistema (Nascimento, 2020; Tihane et al., 2019). Segundo estudos realizados por diversos pesquisadores, o PR pode variar entre 60% e 90%, sendo que valores abaixo de 70% são considerados baixos e acima de 80% são considerados muito bons (Marion et al., 2005; Nobre et al., 2012; Oliveira et al., 2001).

Quando comparados sistemas com PR distintos, aquele que possuir maior valor, não significa, necessariamente, uma maior produção de energia em relação a um sistema com PR baixo. Em locais com altas taxas de irradiação um sistema pode gerar altos valores de energia elétrica mesmo com um PR baixo. Por outro lado, em regiões onde existe predominância de temperaturas elevadas ao longo do ano, o desempenho do sistema tende a ser menor, embora os índices de irradiação solar serem maiores (Dias et al., 2007).

Enquanto o PR está relacionado a disponibilidade de irradiação sobre os módulos, o YF está relacionado a fatores ligados ao projeto / instalação dos sistemas fotovoltaicos tais como a irradiação no plano dos módulos, desempenho dos componentes, sujeira na superfície do painel, sombreamento, eficiência e carregamento do

inversor (Deschamps e Ruther, 2019; Mondol et al., 2006; Marion et al., 2005).

O fator de capacidade, exprime a relação entre a energia gerada e a energia se o sistema operasse em potência nominal durante as 24 horas do dia. É expresso em porcentagem, e pode ser calculado através da Eq. (3):

$$FC = \frac{E}{P_{FV} \times 24 \times n} \times 100 \quad (3)$$

em que: E é a energia gerada [kWh] e P_{FV} é a potência do sistema fotovoltaico [kWp] e n o número de dias do período analisado.

Valores de fatores de capacidade típicos de sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil variam entre 13% e 18%, ou seja, a energia gerada por um SFCR por dia é equivalente ao sistema operando de 3,12 a 4,32 horas por dia em potência nominal (Kormann et al., 2014). Os valores do fator de capacidade variam ao longo das estações do ano, ou seja, apresenta valores mais baixos durante os meses de inverno, e valores mais elevados durante o verão como consequência da elevação dos índices de incidência solar.

Método Bottom-up

Uma das formas de estimar a redução de emissões de CO_2 oriundas da geração de energia elétrica é através da metodologia Bottom-up do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas através da Eq. (4):

$$ECO_2 = C * FE \quad (4)$$

em que: ECO_2 é a emissão de gases do efeito estufa [kg CO_2 /dia], C é o consumo de eletricidade[kWh/dia] e FE é o Fator de emissão geração FV [kg CO_2 /kWh].

O fator emissão de CO₂ da Eq. (4), considera a média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem e pode ser obtido através de relatório emitido mensalmente pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, e tem como objetivo estipular a quantidade de CO₂ emitido do Sistema Interligado Nacional do Brasil (SIN). Se todos os consumidores de energia elétrica do SIN calculassem as suas emissões multiplicando a energia consumida por esse Fator de Emissão, o somatório corresponderia às emissões do SIN (MCTI, 2022). Os fatores de emissão de CO₂ emitido pelo Sistema Interligado Nacional por mês no período de janeiro de 2020 a agosto de 2022 estão mostrados na Tab. 2.

Analisando a Tab. 2, é possível observar uma elevação dos fatores de emissão de CO₂ emitidos pelo SIN, no período de junho a dezembro de 2021, decorrente da escassez de chuvas, o que provocou uma redução do nível dos reservatórios das hidrelétricas e conseqüentemente uma maior utilização de fontes de energia não renováveis como o carvão e o gás natural, acentuando a emissão de gases do efeito estufa.

Obtenção dos dados

A obtenção dos dados de geração de energia é realizada através da memória de massa dos inversores presentes nos sistemas fotovoltaicos e disponíveis on-line na plataforma dos fabricantes.

Tabela 2 – Fatores emissão de CO₂ emitido pelo SIN

Mês \ Ano	2020	2021	2022
Jan	0,0916	0,1164	0,0732
Fev	0,0558	0,0820	0,0503
Mar	0,0384	0,0673	0,0406
Abr	0,0296	0,0764	0,0216

Mai	0,0358	0,0883	0,0280
Jun	0,0491	0,1491	0,0441
Jul	0,0400	0,1634	0,0419
Ago	0,0414	0,1743	0,0457
Set	0,0329	0,1699	-
Out	0,0961	0,1786	-
Nov	0,1191	0,1484	-
Dez	0,1109	0,1029	-
FE _{médio}	0,0617	0,1324	0,0430

Para fins de análise e cálculos no referido trabalho foi considerado o período de operação compreendido entre julho de 2020 e junho de 2022. A energia gerada mensalmente pelos sistemas SFCR1 e SFCR2 são mostradas nas Fig. 4 e Fig. 5, respectivamente.

Figura 4 – Geração de Energia do SFCR1

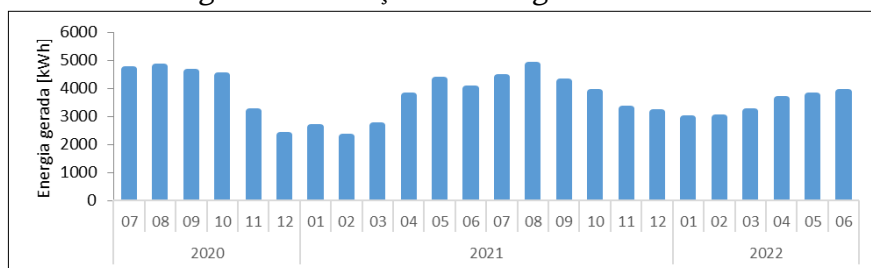
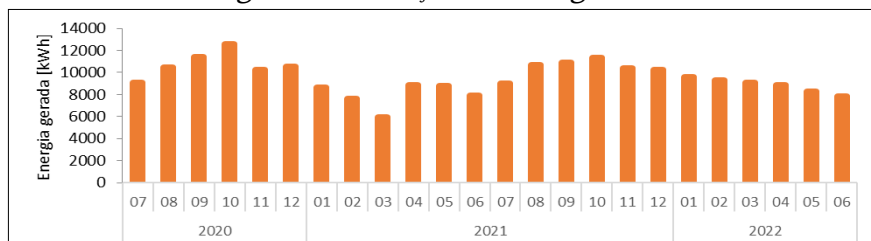
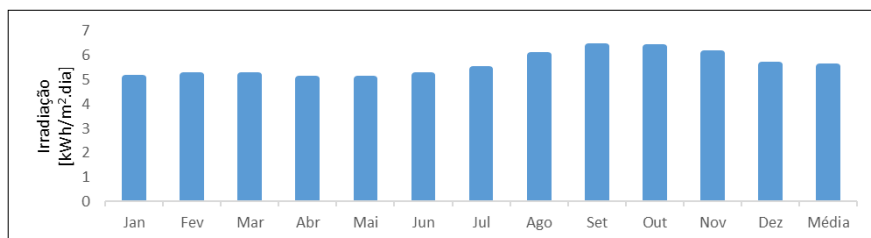


Figura 5 – Geração de Energia do SFCR2



O Estado do Piauí, por estar localizado no chamado “cinturão solar”, possui um dos mais altos níveis de incidência solar do Brasil, atingindo, em média, um período de 12 horas de sol e, aproximadamente, 5 kWh/m² ao dia. A disponibilidade de irradiação solar na cidade de Teresina foi obtida a partir dos dados disponibilizados pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito – CRESESB (CRESESB, 2022), considerando os raios incidente no plano do painel, durante o período de um ano, conforme mostrado na Fig. 6.

Figura 6 – Irradiação solar incidente no plano dos painéis em Teresina-PI

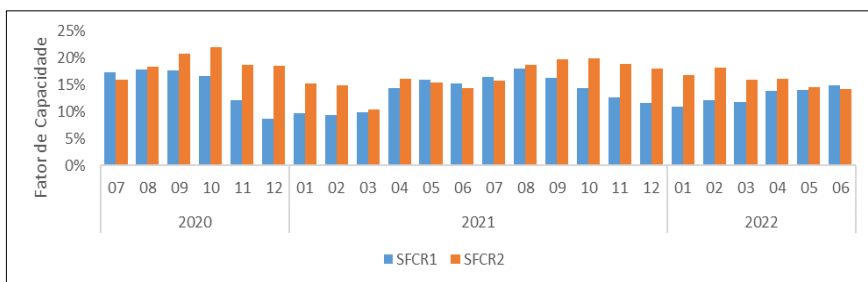


O comportamento das curvas da energia gerada pelos sistemas SFGR1 e SFGR2 ao longo do ano, Fig. 4 e Fig. 5, está diretamente relacionado as condições climáticas e aos índices de irradiação na cidade de Teresina, Fig. 6. Embora o índice de irradiação permaneça praticamente constante ao longo do 1º semestre, os meses de janeiro a março são caracterizados por dias chuvosos e com muitas nuvens resultando em menores valores de geração. Durante o 2º trimestre, a quantidade de dias chuvosos é reduzida e ocorre uma elevação da geração de energia. O 3º trimestre apresenta as melhores condições para geração de energia, em que os dias apresentam poucas nuvens, boa ventilação e elevados índices de irradiação solar. Já durante o 4º trimestre ocorre a elevação da temperatura e chuvas casuais, ocasionando uma redução na geração de energia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os desempenhos dos SFCRs foram analisados a partir do fator de capacidade, cálculo da produtividade e da taxa de desempenho dos sistemas. No período analisado, os sistemas SFCR1 e SFRC2, apresentaram um fator de capacidade médio de 13,88% e 17,02% respectivamente, os quais estão dentro da faixa de valores típicos de sistemas instalados no território brasileiro que variam de 13% a 18%. A Fig.7 apresenta os valores médios dos fatores de capacidade ao longo dos meses.

Figura 7 – Fator de capacidade mensal dos sistemas fotovoltaicos



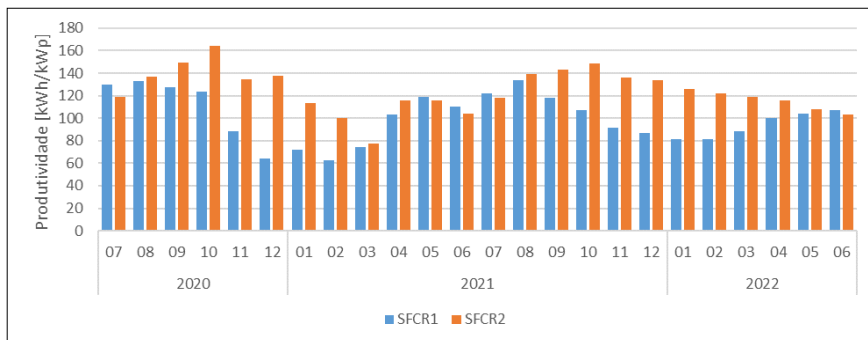
As Fig. 8 e Fig. 9 apresentam o comportamento da produtividade e da taxa de desempenho, ao longo do período de análise, respectivamente.

Observa-se a partir da Fig. 8, que a produtividade dos sistemas, reflete as variações do clima na cidade de Teresina-PI e que os comportamentos dos gráficos são semelhantes aos dos fatores de capacidade da Fig. 7, em que há uma relação proporcional dos resultados com os dias em que há menores ou maiores índices de irradiação. O sistema SFCR1 apresenta os maiores valores de nos meses de agosto, registrando o pico de 134,17 kWh/kWp, em agosto de 2021. Já o sistema SFRC2 apresenta maiores valores de produtividade nos meses de outubro, registrando o pico de 164,60 kWh/kWp, em outubro de 2020. Os sistemas SFCR1 e SFRC2

apresentaram uma produtividade média, ao longo do período de análise, de 101,31 kWh/kWp e 124,25 kWh/kWp, respectivamente.

Vale salientar que em virtude dos sistemas estarem fixados no telhado do bloco de engenharia, em diferentes quedas d'água, o sistema SFCR1 voltado para o nordeste enquanto o sistema SFR2 para o sudoeste, os sistemas recebem diferentes índices de irradiação solar, o que justifica o deslocamento entre as curvas de produtividade, e conseqüentemente, a não coincidência do mês em que ocorre pico de produtividade de cada sistema.

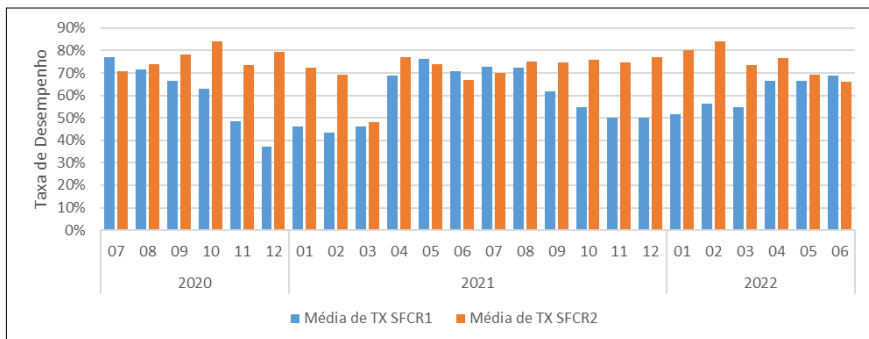
Figura 8 – Produtividade diária dos sistemas fotovoltaicos



Observa-se a partir da Fig. 9, que a taxa de desempenho de um sistema solar, não está restrito exclusivamente a irradiação no plano dos módulos, mas relacionadas com outros fatores ligados ao projeto / instalação, do desempenho dos componentes, da sujeira na superfície do painel, da eficiência, da temperatura de operação ou do carregamento do inversor. O SFCR1, no período analisado, apresentou uma maior variação em sua taxa de desempenho em relação ao SFCR2. O sistema SFCR1 apresentou a maior taxa de desempenho no mês de julho de 2020, registrando o pico de 76,87%. Já o sistema SFCR2 apresentou o pico da taxa de desempenho 84,19%, em fevereiro de 2022, a qual não coincide com o mês em que ocorre o maior índice de irradiação na cidade de Teresina-PI. Os sistemas SFCR1 e SFCR2 apresentaram, durante

o período de análise, uma taxa de desempenho média de 60,04% e 73,52%, respectivamente, as quais são consideradas baixas para os padrões de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Figura 9 – Taxa de desempenho dos sistemas fotovoltaicos



Na Tab. 5 são apresentados os valores de emissão de CO₂ para os sistemas instalados na UFPI, segundo o método Bottom-up. Nessa tabela considera-se que toda energia gerada/consumida pela carga foi proveniente da concessionária.

Tabela 5 – Valores de emissão de CO₂ para os sistemas instalados na UFPI

Descrição	SFCR1	CFSR2
Energia ativa (kWh)	87.530,30	227.773,00
Emissão de CO ₂ (kgCO ₂)	267,16	707,42
Valor Total de Emissão dos SFCR (kgCO ₂)	974,58	

Para o cálculo da quantidade de árvores necessárias para neutralizar a quantidade de CO₂ emitida no processo de geração de energia por parte da concessionária, foram utilizados os parâmetros do estudo realizado pela Escola de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) da USP em parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica em 2011. No referido trabalho, foi acompanhado

durante 11 anos, o desenvolvimento de árvores nativas de espécies e idades diferentes no bioma da Mata Atlântica, e determinados a biomassa e os teores de carbono orgânico para tronco e galhada de espécies normalmente utilizadas nos processos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas no Estado de São Paulo.

Com base nos resultados obtidos ficou estabelecido um índice de neutralização de CO₂-equivalente de 7,0 kgCO₂-eq. ano⁻¹ por árvore (Lacerda et al., 2011). Desta forma, os sistemas fotovoltaicos instalados no Centro de Tecnologia da UFPI, durante o período de julho de 2020 a junho de 2022, foram capazes de absorver da atmosfera, uma quantidade de CO₂ equivalente ao poder de absorção de 70 árvores nativas da Mata Atlântica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho analisou o comportamento real de 02 (dois) sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados no bloco de engenharia da UFPI, através dos índices de performance, uma vez que os sistemas possuem potências e arranjos distintos. Para o cálculo dos índices, foram utilizados os dados de placas e os dados históricos de cada sistema, obtidos através dos sistemas de monitoramento disponibilizados pelos fabricantes, bem como a série histórica de irradiação solar na cidade de Teresina disponibilizados pelo CRESESB.

Com base nos dados obtidos, observou-se que os sistemas SFCR1 e SFCR2 apresentaram, durante o período de análise, valores médios do índice de mérito fator de capacidade de 13,88% e 17,02% respectivamente, os quais estão dentro da faixa de valores típicos de sistemas instalados no território brasileiro que variam de 13% a 18%. A produtividade dos sistemas SFCR1 e SFCR2, ao longo do período de análise, apresentou valores médios de 101,31 kWh/kWp e 124,25 kWh/kWp, respectivamente, refletindo o comportamento do clima na cidade de Teresina-PI, e alcançando

os valores máximos, no segundo semestre de cada ano, onde os índices de irradiação solar são maiores. Em relação a taxa de desempenho média os SFCR1 e SFCR2 apresentaram valores de 60,04% e 73,52%, respectivamente. A taxa de desempenho do SFCR1 igual a 60,04% ficou abaixo do limite considerado como bom, ou seja, sistemas com taxa de desempenho superiores a 70%. Vale destacar que os dois sistemas da UFPI, não possuem um plano de manutenção e de limpeza periódica. Desta forma, a presença de sujeira na superfície do painel, a presença de pontos quentes ou pontos de sombreamentos podem estar contribuindo para os baixos valores de produtividade e de taxa de desempenho.

A energia elétrica limpa e renovável gerada pelos sistemas nos dois anos de monitoramento evitou o lançamento na atmosférica de 974,58 kgCO₂, contribuindo para a redução de gases do efeito estufa. Para que fosse atendido o critério de emissões zero de CO₂, necessitaria de uma quantidade equivalente de 70 árvores nativas da Mata Atlântica para absorver os 974,58 kgCO₂ produzidos por uma fonte de energia não-renovável.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal do Piauí por meio do Programa de Pró-Reitoria de Ensino de Pós-Graduação e do Centro de Tecnologia (CT), em especial ao corpo docente e técnico do curso de engenharia elétrica, e a minha família.

REFERÊNCIAS

Almerão, E. S., Machado, A. B., Scarabelot, L. T., Rampinelli, G. A., 2022. Desempenho Energético de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Localizados na Europa e no Sul do Brasil a partir de Análise Multi-índices. IX Congresso Brasileiro de Energia Solar, Florianópolis, Brasil.

ABSOLAR, 2022. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Infográfico Absolar. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 01 out. 2022.

BRASIL, 2020. Intended Nationally Determined Contribution: Towards Achieving the Objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change, Brasília.

Benedito, R. S., 2009. Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob Os Aspectos Técnicos, Econômico e Regulatório, Dissertação de Mestrado, Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Campos, R. A., Nascimento, L. R., Rüther, R., 2020. The Complementary Nature between Wind and Photovoltaic Generation in Brazil and the Role of Energy Storage in Utility-Scale Hybrid Power Plants. *Energy Conversion and Management* 221. Elsevier.

Deschamps, E. M., Rüther, R., 2019. Optimization of Inverter Loading Ratio for Grid Connected Photovoltaic Systems. *Solar Energy*, 179, pp. 106-118.

Dias, J. B., Silvério, W. V., Krenzinger, A., 2007. Simulação dos índices da Performance Energética para uma Instalação Fotovoltaica Conectada à Rede em Diferentes Locais. I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza, Brasil.

EPE, 2022 – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional - ano base 2021.

IEA - International Energy Agency, Solar PV, Paris <https://www.iea.org/reports/solar-pv>, Licença: CC BY 4.

IEA-PVPS., 2000. Analysis of Photovoltaic Systems. St. Ursen: Report lea-pvps T2-01, 233.

IEA-PVPS., 2014. Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems. St. Ursen: Report lea-pvps T13-03, 90.

Korman, L. et al., 2014. Desenvolvimento de Mapas de Avaliação de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos em Diferentes Ângulos de Inclinação e de Azimute. ASADES, v. 18, p. 04.01-04.08.

Khalid, A. M., Mitra, I., Warmuth, W. Schacht, V., 2016. Performance ratio-crucial parameter for grid connected pv plants. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 65, p. 1139-1158.

Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., Canada, B., Narang, D., shugar, D., Wenger, H., Kimber, A., Mitchell, L., Rich, G., Townsend, T., 2005. Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. In “31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition”, pp. 1601-1606, Lake Buena Vista, Florida.

Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, 2022. Relatório das Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa (5ª edição). Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/fator-medio-inventarios-corporativos>. Acesso em: 10/10/2022.

Mondol, J. D., Yohanis, Y., Smyth, M., Norton, B., 2006. Long Term Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic System in Northern Ireland. Energy Conversion and Management 47, 2925-2947.

Neves, C. E. T., Urbanetz, J., Silva, J. C., Ziwich, R. P., Novak, L. H., Possetti, G. R. C., 2022. IX Congresso Brasileiro de Energia Solar, Florianópolis, Brasil.

Pereira, N. X., 2019. Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Geração Distribuída vs Geração Centralizada, Dissertação de Mestrado, UNESP, Sorocaba.

Lacerda, J. S; Couto, H. T. Z; Hirota, M. M.; Pasishnyk, N.; Polizel, J. L., 2011. Estimativa da Biomassa e Carbono em Áreas Restauradas com Plantio de Essências Nativas, USP, Piracicaba.

Nascimento, L. R., Braga, M., Campos, R. A., Napolini, H. F., Rüther, R., 2020. Performance Assessment of Solar Photovoltaic Technologies under Different Climatic Conditions in Brazil. *Renewable Energy*, v. 146, p. 1070 – 1082.

Nobre, A., Ye, Z., Cheetamun, H., Reindl, T., Luther, J., e Reise, C., 2012. High Performing PV Systems for Tropical Regions - Optimization of Systems Performance. In “27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition”, pp. 3763-3769, Messe Frankfurt, Germany.

Ogbomo, O. O., Amalu, E. H., Ekere, N. N., Olagbegi, P. O., 2017. A Review of Photovoltaic Module Technologies for Increased Performance in Tropical Climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1225–1238.

Oliveira, S. H. F. d., Zilles, R., 2001. Grid-connected Photovoltaic Systems: The Brazilian Experience and The Performance of an Installation. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 9, 341-347.

United Nations. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development* United Nations. New York, NY, 2015b.

Tihane, A., Boulaid, M., Elfanaoui, A., Nya, M., Ihlal, A., 2019. Performance Analysis of Mono and Poly-crystalline Silicon Photovoltaic Modules Under Agadir Climatic Conditions in Morocco. *Materials Today: Proceedings*, vol. 24.

Zomer, C. D., Custódio, I. P., Rüther, R., 2020. A Arquitetura como Fator de Decisão no Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificações. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza, Brasil.

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO NO MUNICÍPIO DE FLORIANO APÓS 6 ANOS DE OPERAÇÃO

*Áureo do Carmo Moura
Marcos Antônio Tavares Lira*

INTRODUÇÃO

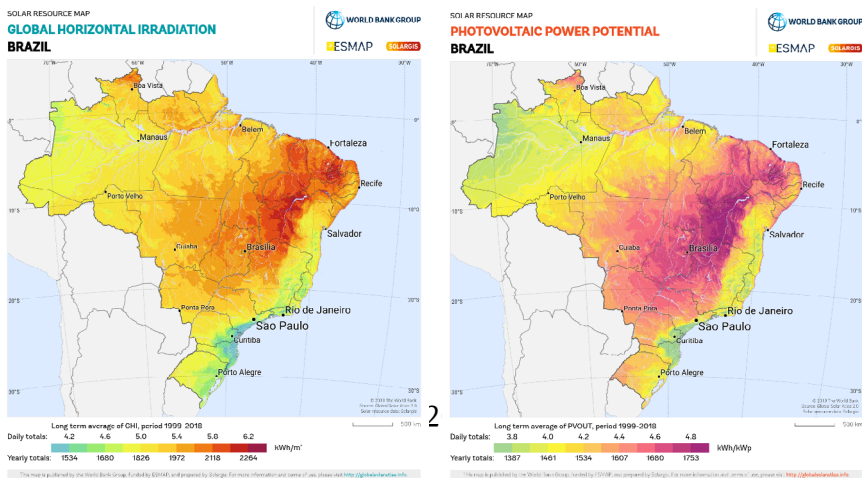
A distribuição de energia solar no mundo tem crescimento exponencial e os preços decrescentes, a robustez tecnológica e principalmente a preocupação ambiental, acelera esse crescimento com o aproveitamento dessa fonte apresentando cada vez mais protagonismo na transformação energética sustentável.

As mudanças no setor elétrico serão cada vez mais dinâmicas para atender a revolução tecnológica e os desejos dos novos consumidores de energia elétrica, que estão mais conectados com as inovações e preocupados com o meio ambiente.

Essa tendência mundial se aplica no Brasil, que por sua localização geográfica recebe elevados índices de incidência da radiação solar (comparados a países onde a tecnologia

fotovoltaica está mais desenvolvida) e relativamente uniformes no território nacional, o que permite desenvolver projetos solares viáveis em diferentes regiões. Assim, dada a redução de custos considerada, a fonte solar fotovoltaica se apresenta como alternativa competitiva e com alto potencial de geração de energia como mostado na figura 1.

Figura 1 – Áreas com alta irradiação solar e aptas para instalação de Usinas Fotovoltaicas



Adicionalmente, a modularidade da tecnologia fotovoltaica permite o desenvolvimento de projetos em diferentes escalas e configurações, centralizados e distribuídos. (PNE 2050, 2022).

Segundo o “Global Market Outlook for Solar Power 2022-2026”, principal relatório de mercado do setor solar fotovoltaico mundial, o Brasil, mercado líder em energia solar na América Latina, deve se tornar um dos principais mercados globais nos próximos anos, podendo atingir 54 gigawatts (GW) de capacidade solar total até 2026.

O momento é de pleno desenvolvimento dos recursos energéticos distribuídos, do armazenamento energético e

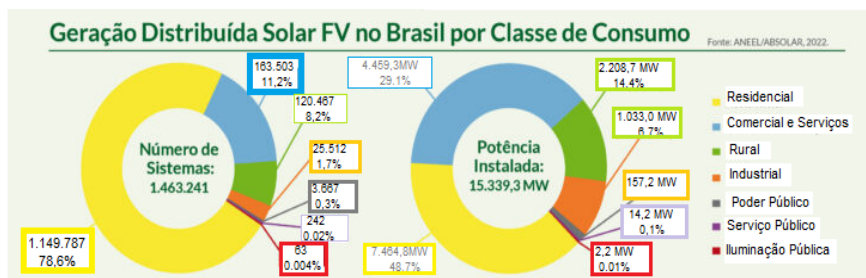
da eficiência energética. O enorme crescimento da Geração Distribuída (GD) no país é um reflexo dessa nova forma de utilização dos recursos energéticos que avançou muito a partir de 2012, após a agência reguladora ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) através da Resolução Normativa nº 482 estabelecer as regras e a regulamentação para a chamada micro e minigeração, onde o Brasil adotou o mecanismo de compensação de energia, em que um telhado solar pode ser conectado na rede elétrica pública através da Unidade Consumidora (UC) e injetar o excedente gerado por essa unidade consumidora na rede elétrica como se ela fosse uma bateria de capacidade infinita, acumulando créditos a serem compensados em kWh. (Atlas Solar Brasileiro, 2017)

Atualmente, existe cerca de 1,4 milhão de sistemas de Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) no Brasil e que beneficiam mais de 1,8 milhão de unidades consumidoras. Existe um crescimento esperado de mais de 30% na potência instalada em 2023. (ANEEL,2022).

O Piauí desponta como um estado com grande potencial solar, grandes empreendimentos foram implantados e outros em andamento deixam hoje o estado com a segunda posição em produção de energia fotovoltaica no Brasil. O estado tem a maior usina da América do Sul que está localizada no município de São Gonçalo do Gurguéia com capacidade de gerar 1.500GW por ano e destaca-se como o primeiro empreendimento no estado a utilizar módulos solares bifaciais.

Segundo dados da ANEEL, em dezembro de 2021 o Brasil apresentava 709.746 Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede (SFCR) homologados, totalizando aproximadamente 7,89GWp de potência instalada em Geração Distribuída (GD), sendo que 12.224 (145,87 MWp) estavam implantados no Piauí (ANEEL,2021). Na figura 2 podemos ver um infográfico atualizado para 2022.

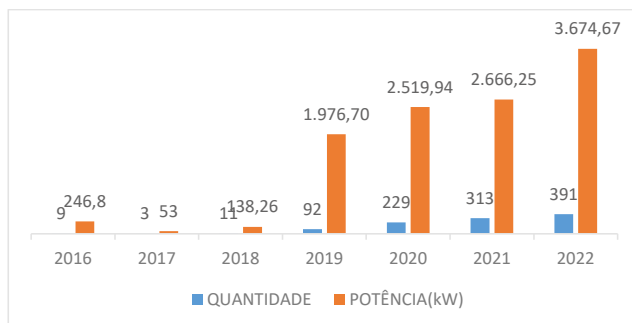
Figura 2 – Quantidade de sistemas fotovoltaicos e potência Instalada em Geração Distribuída



Fonte: ANEEL/ABSOLAR – 2022

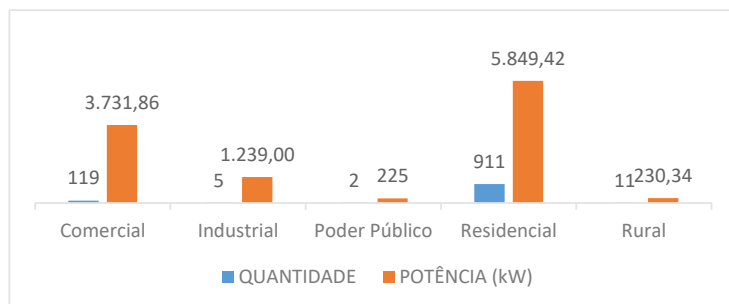
O município de Floriano, seguindo a tendência de crescimento do setor conta com 1.048 Sistemas de Geração Distribuída, em sua maioria sistemas residenciais. Na figuras 3 podemos ver a evolução ao logo dos anos e na Figura 4 a distribuição por classe de consumo.

Figura 3 – Crescimento das Conexões em Geração Distribuída em Floriano – PI



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da ANEEL – Geração Distribuída - 12/2022

Figura 4 – Conexões em Geração Distribuída por Classe de Consumidor em Floriano - PI



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da ANEEL – Geração Distribuída - 12/2022

O presente trabalho realiza uma análise do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) do Instituto Federal do Piauí - IFPI Campus Floriano, instalado e em operação desde maio de 2016. A análise foi realizada para um período de 12 meses, de dezembro de 2021 a novembro de 2022.

DADOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DO IFPI – CAMPUS FLORIANO

A Usina Fotovoltaica (UFV) do Campus Floriano foi a primeira instalação de mini geração distribuída instalada em Instituição de Ensino Público no Piauí. O sistema tem uma potência nominal de 150kWp e os 660 módulos solares ocupam uma área de aproximadamente 1.065m² no telhado e atende parte do consumo da Instituição gerando não só economia nas finanças como reduzindo o impacto ambiental, pois durante a geração não há produção de gases efeito estufa, neutralizando assim a emissão de CO₂.

O sistema de geração fotovoltaica é composto por 660 módulos fotovoltaicos policristalinos de 260Wp, modelo CS6P-

260P de fabricação Canadian Solar totalizando 171,60 kWp e cujas características estão descritas na tabela 1.

Tabela 1 – Especificações técnicas do módulo Canadian Solar CS6P-260P para as condições de irradiância 1.000 W/m², temperatura de célula 25°C e espectro AM 1,5.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Potência Máxima ($P_{m\acute{a}x}$)	260 Wp
Corrente de Máxima Potência (I_{mpp})	8,56 A
Tensão de Máxima Potência (V_{mpp})	30,4 V
Corrente de Curto Circuito (I_{sc})	9,12 A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})	37,5 V
Coefficiente de Temperatura V_{oc}	-0,31%/°C
Coefficiente de Temperatura I_{sc}	+ 0,053%/°C
Eficiência	16,16 %
Dimensão	1638 x 982 x 40 mm
Peso	18kg

Fonte: Canadian Solar Brasil – Datasheet Módulos CS6P-260W

Os inversores utilizados são da marca SMA Sunny Tripower, modelos SIW500 ST010 x 1, SIW500 ST015 x 1 e SIW500 ST025 x 5 , totalizando 7 inversores. Assim, a potência máxima do SFV é limitada pela potência dos inversores utilizados, o que totaliza 150 kWp. As especificações técnicas dos inversores encontram-se na Tabela 2

Tabela 2 – Especificações técnicas dos inversores SMA Sunny Tripower SIW500

	ST010	ST015	ST025
Faixa de Tensão do MPPT	370-800 V	360-800 V	390-800 V
Tensão Nominal de Entrada	580 V	600 V	600 V
Número de MPPTs / <i>Strings</i> por MPPT	2 / 2	2 / 2	2 / 2
Máxima Corrente / por <i>String</i>	18 / 10 A	40 / 12,5 A	33 / 33 A
Potência Nominal de Saída	10.000 W	15.000 W	25.000 W
Tensão Nominal de Saída	380 V	380 V	380 V
Corrente Nominal de Saída	14,5 A	24 A	36,2 A
Eficiência Máxima	98 %	98,2 %	98,3 %

Fonte: SMA Solar Technology – Datasheet Inversores Sunny Tripower

Os módulos fotovoltaicos do SFVCR são montados no telhado em estruturas metálicas fixas, orientados para o Nordeste (desvio azimutal de 5°) nos telhados 1, 2, 3 e 4N com inclinação de 15°, e orientados para o Sudoeste (desvio azimutal de 175°) nos telhados 4S e 5 com inclinação de 15°, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Disposição do Módulos Fotovoltaicos da UFV – IFPI Campus Floriano



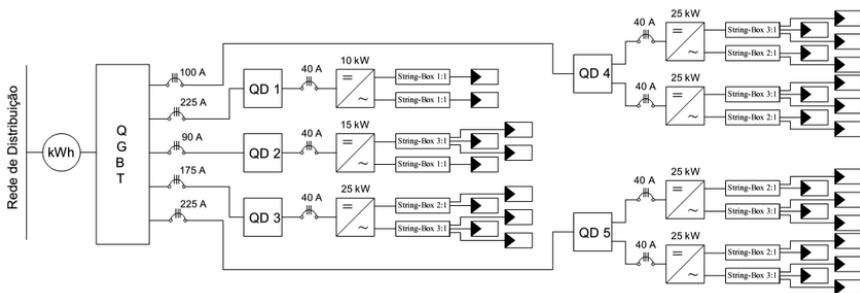
Fonte: Arquivos IFPI – Campus Floriano

O sistema instalado ocupa uma área aproximada de 1065m² com módulos fotovoltaicos distribuídos em cinco arranjos divididos em dois subsistemas sendo um de 50 kWp

ocupando os telhados 1, 2, 3 e outro arranjo de 100 kWp com módulos nos telhados 4N (norte), 4S (sul) e 5. No telhado 1 tem 34 módulos divididos em duas strings de 17 módulos ligados a um inversor de 10 kWp, no telhado 2 tem um arranjo de 110 módulos divididos em tres strings de 20 módulos e duas strings de 25 módulos conectados a um inversor de 25 kWp, no telhado 3 tem um arranjo de 60 módulos divididos em quatro strings de 15 módulos interligados a um inversor de 15 kWp totalizando 50 kWp no sub sistema 1. O sub sistema 2 tem dois arranjos de 228 módulos distribuidos nos telhados 4N, 4S e 5 com 2 inversores de 25 kWp por arranjo, sendo conectado a cada inversor tres strings de 22 módulos e duas strings de 24 módulos totalizando 100 kWp.

Na conexão das strings aos inversores foram usados string-box de uma entrada e uma saída, duas entradas e uma saída e tres entradas e uma saída conforme mostra diagrama unifilar na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama Unifilar da UFV do IFPI – Campus Floriano



METODOLOGIA E MÉTODOS

Para avaliação do sistema são necessários utilização de índices de mérito comumente utilizados para analisar a operação e fazer as comparações entre sistemas fotovoltaicos. Esse tipo de

ferramenta permite comparar sistemas mesmo em locais diferentes e potências nominais distintas. Foram utilizados no trabalho a Produtividade do Sistema, o Rendimento Global ou Performance Ratio e o Fator de Capacidade.

O sistema fotovoltaico analisado é dividido em dois subsistemas, conforme descrito na seção 2. Assim foi comparado esses dois subsistemas, pois cada um tem potências nominais e parâmetros diferentes em orientação. Assim, além de demonstrar o desempenho do sistema como um todo, foi possível comparar o desempenho de cada sub sistema.

A produtividade do sistema (Y_F), expressa em kWh / kWp é a razão entre a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico em um determinado intervalo de tempo e a potência nominal do gerador conforme mostra a Equação. 1.

$$YF = \frac{E(t)}{P_n} \quad (1)$$

Onde,

$E(t)$ é a energia entregue pelo sistema no instante t , em kW;

P_n é a potência nominal do sistema em kWp.

Como a potência nominal dos módulos é calculada em condições nominais de operação (irradiância de 1000W/m² a 25°C) e é igual para todos os módulos, este índice permite uma comparação com outros sistemas, quanto à eficiência da conversão CC para CA de diferentes configurações e ambientes de montagem (MARION et.al.,2005).

O Rendimento Global ou Performance Ratio (PR) de um Sistema Fotovoltaico é a razão entre a Produtividade do Sistema (kWh/kWp) e a quantidade de horas de sol a 1.000 W/m² incidentes nos painéis fotovoltaicos, irradiação normalmente vinculada a um período anual de operação (URBANETZ et.al., 2014a)

Também conhecida como Desempenho, a PR pode ser definida como a razão entre a Produtividade do Sistema e desempenho máximo teórico possível, dada em porcentagem. Equação.2

$$PR = \frac{YF}{H(t)} \quad (2)$$

Onde,

H(t) representa a irradiação no plano do painel fotovoltaico, no intervalo de tempo t, em kWh/m².dia;

Este índice (PR) é o mais utilizado para comparação de desempenho elétrico entre sistemas fotovoltaicos conectados à rede, já que considera as perdas no processo de geração de energia solar em energia elétrica em CA (BENEDITO, 2009). Ou seja, o PR permite a comparação direta entre sistemas de geração independente, devido a sua métrica englobar o cálculo para diferentes tecnologias e diferentes ocorrências de irradiação. Caso este valor esteja abaixo de esperado, é provável que o sistema apresente defeitos em alguns de seus componentes, sujeira ou a própria degradação do sistema. Segundo (Benedito, 2009), valores acima de 75% são esperados, tomando por base os sistemas já estudados.

O outro índice, o Fator de Capacidade FC, representa a razão da Produtividade do Sistema e o período de funcionamento do sistema, equação 3. Normalmente esse tempo de análise é de 1 ano. A geração solar no Brasil apresenta fatores entre 13% a 18% dependendo das variantes do sistema (BENEDITO, 2009).

$$FC = \frac{E(t)}{Pn*T} = \frac{YF}{T} \quad (3)$$

Em que,

T é o período de tempo desejado para avaliação. O valor da energia deve ser registrado neste mesmo intervalo de tempo.

P_N é a potência nominal do painel solar, em (kWp).

Todos os dados do sistema fotovoltaicos e de geração coletados foram cedidos pela administração do IFPI campus Floriano, já os dados de irradiação foram coletados do CRESESB usando as inclinações e coordenadas do local.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

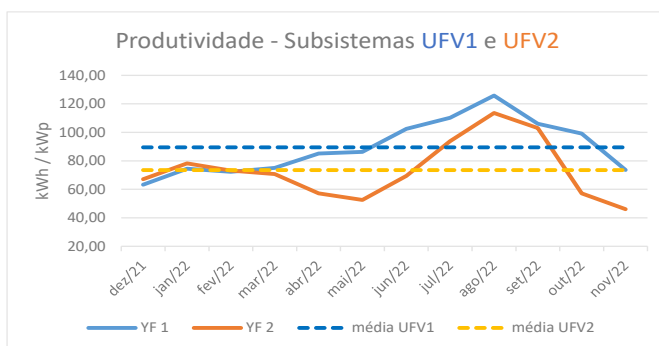
Os parâmetros a serem calculados, escolhidos em função da ampla utilização, foram a produtividade – Yield (YF), a Performance Ratio (PR) e o Fator de Capacidade (FC). A produtividade normaliza a produção do gerador fotovoltaico com sua respectiva potência nominal, caracteriza a região geográfica do sistema permitindo comparar sistemas fotovoltaicos de diferentes dimensões (CREMASCO et al., 2021). Já o performance ratio normaliza a produtividade em relação ao recurso solar, permitindo comparar sistemas de diferentes localizações geográficas, mostrando a totalidade das perdas do sistema fotovoltaico e o distanciamento em relação a operação considerada ideal (ALMEIDA; ZILLES, 2012). O fator de capacidade apresenta a capacidade real de geração de energia elétrica comparada a energia que poderia ser gerada em potência nominal por períodos de 24h ao dia, normalmente durante um ano sendo expresso em percentual (OLIVEIRA, 2017)

O período usado para avaliação foi de um ano, de dezembro de 2021 a novembro de 2022 e os dados de geração necessários para os cálculos das fórmulas foram obtidos do sistema de monitoramento do SFVCR. Os valores de geração mensal podem ser observados na tabela 3 e figura 7.

Tabela 3 – Geração mensal dos Subsistemas 1 e 2 – (kWh)

	dez/21	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
UFV1	3355,4	3949,1	3835,8	3980,5	4517,2	4577,5	5432,3	5844,3	6673,0	5625,0	5258,7	3903,6
UFV2	7957,8	9273,4	8679,7	8392,2	6781,3	6234,4	8234,0	11111,8	13466,0	12210,2	6773,2	5460,6

Figura 7 – Dados de Geração da UFV do IFPI – Subsistemas 1 e 2



Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados do Sistema

Observou-se no período de junho a outubro uma geração maior para os dois subsistemas, sendo que ao longo do ano o subsistema 1 apresentou uma variação menor em relação a sua média anual diferente do subsistema 2 que teve picos de geração muito abaixo da sua média anual. A geração do período ficou em 161.526,90 kWh.

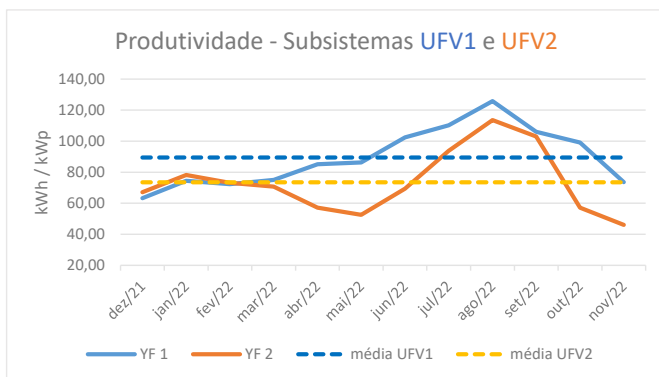
Produtividade do sistema (YF)

De posse dos valores da tabela 3, calculou-se a produtividade (kWh / kWp) mês a mês e a produtividade média anual dos subsistemas fotovoltaicos conforme tabela 4.

Tabela 4 – Produtividade (Yield_YF) – kWh / kWp

Sistema	dez/21	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
UFV1	63,26	74,45	72,32	75,05	85,17	86,30	102,42	110,19	125,81	106,05	99,15	73,60
UFV2	67,12	78,22	73,21	70,78	57,20	52,58	69,45	93,72	113,58	102,99	57,13	46,06

Figura 8 – Produtividade Mensal e a Média dos Subsistemas 1 e 2 e da UFVCR do IFPI

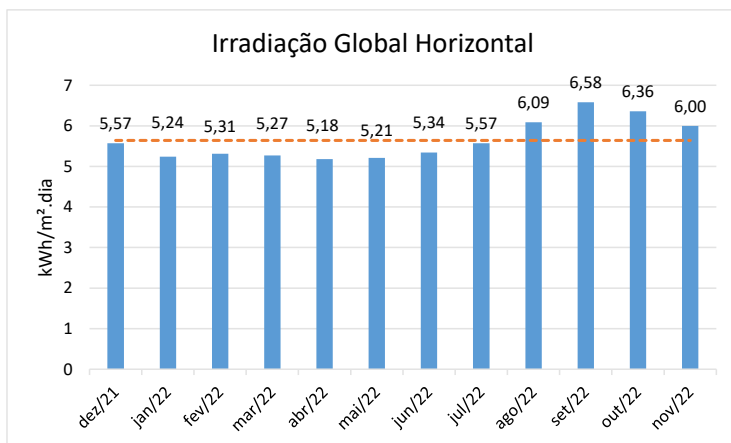


Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados do Sistema

A produtividade do subsistema 1 foi superior a do subsistema 2 em quase todo o período analisado e a produtividade média total do sistema completo (UFV1 + UFV2) ficou em 162,98 kWh / kWp.

A Figura 9 mostra a variação do recurso solar na cidade de Floriano-PI ao longo dos meses da análise. Dados obtidos da base do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - LABREN, onde observa-se na linha tracejada a média anual de 5,64 kWh/m².dia destaque para os meses de agosto a novembro apresentando valores de irradiação solar acima da média anual.

Figura 9 – Irradiação Global Horizontal em kWh/m² . dia



Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados do INPE LABREN

Observando os valores de irradiação solar na Figura 9 pode-se ver que a cidade de Floriano-PI possui condições favoráveis para a geração de energia solar fotovoltaica conforme dados de irradiação e potencial fotovoltaico mostrado na figura 1. Em destaque no gráfico o período de agosto a novembro onde observa-se a irradiação acima da média.

Uma análise no Atlas Brasileiro de Energia Solar, verifica-se que a cidade de Floriano está situada na região do estado do Piauí onde os valores médios anuais de irradiação solar global horizontal encontram-se entre 5,50 e 5,75 kWh/m².dia, com médias mensais que podem facilmente ultrapassar a marca dos 6,0 kWh/m².dia. (Pereira et al., 2017)..

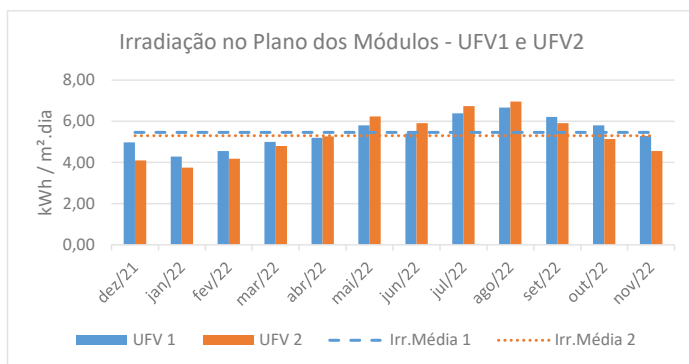
A tabela 3, mostra a geração dos subsistemas que ao longo do ano geraram em conjunto uma média mensal de 13.460,58 kWh com produção acima da média ocorrendo nos meses de julho a setembro no subsistema 2 e de junho a outubro no subsistema 1 conforme observou-se no gráfico da figura 7. Vale ressaltar que a produção total nos 365 dias relativos ao ano de operação do

sistema foi de 161.526,90 kWh o que nos dá uma produção diária média de 442,54 kWh de energia.

Utilizando-se do *software* Radiasol, foram encontrados os valores médios de irradiação solar no plano dos módulos, descritos na Figura 10. Os valores encontrados perfazem uma média anual de 5,46 kWh/m²/dia para o subsistema 1 e de de 5,30 kWh/m².dia para o subsistema 2. A média de irradiação solar para o sistema total ficou em 5,38 kWh/m².dia.

O software Radiasol é uma ferramenta de uso gratuito, desenvolvida pela UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul e auxilia na determinação da radiação solar quando a superfície apresenta inclinação.

Figura 10 – Irradiação Solar no Plano dos Módulos Foovoltaicos



Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando software RADIASOL,2022.

Desempenho Global ou Performance Ratio – PR.

Tomando como base os cálculos da produtividade do sistema e considerando a irradiação média no plano dos módulos dos dois subsistemas calculou-se a Produtividade aplicando a Eq.2. Como $H(t)$ é a irradiação no período considerado, é necessário

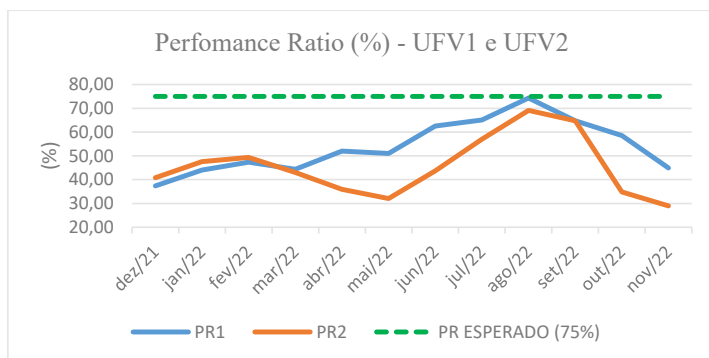
multiplicar o valor médio encontrado e apresentado na Figura 10 pela quantidade de dias do mês em análise.

Tabela 5 – Performance Ratio ou Desempenho Global (%) – PR

	dez/21	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
UFV1	37,37	43,99	47,30	44,34	51,99	50,99	62,53	65,10	74,33	64,75	58,58	44,93
UFV2	40,85	47,61	49,33	43,08	35,97	32,01	43,68	57,04	69,13	64,77	34,77	28,97

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 11 – Performance Ratio dos Sistemas UFV 1 e UFV 2



Fonte: Eleborado pelo próprio autor com dados do Sistema

Na comparação com a expectativa de geração do sistema o valor médio do PR ficou abaixo do percentual de 75% tanto para o subsistema 1 como para o subsistema 2. Observou-se mais uma vez o subsistema 1 teve uma melhor performance chegando próximo de atingir esse percentual no mês de agosto. Tomando por base os sistemas já estudado valores percentuais acima de 75% são esperados. (Benedito, 2009).

Fator de Capacidade - FC

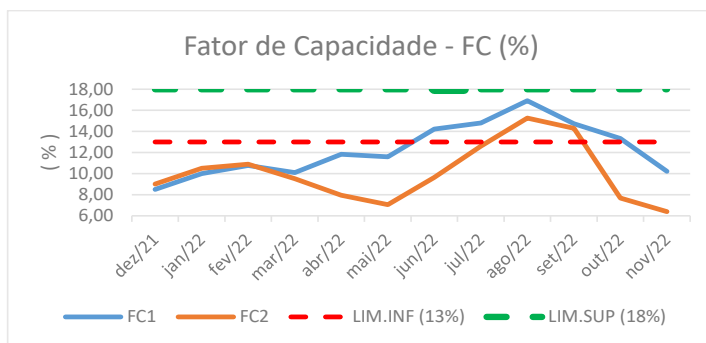
Para o cálculo desse índice foi usada a Eq.3 com dados utilizados nos parâmetros anteriores.

Tabela 6 – Fator de Capacidade (%)

	dez/21	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
UFV1	9,02	10,62	11,42	10,70	12,55	12,31	15,09	15,71	17,94	15,63	14,14	10,84
UFV2	10,70	12,46	12,92	11,28	9,42	8,38	11,44	14,94	18,10	16,96	9,10	7,58

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 12 – Fator de Capacidade - UFV 1 e UFV 2



Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados do sistema

Constatou-se novamente que o subsistema 1 em relação ao subsistema 2 teve maior capacidade de operação no período analisado, trabalhando de junho a outubro entre a faixa percentual esperada, que segundo BENEDITO, (2009) varia entre 13% e 18%, dependendo da disponibilidade solar e da tecnologia.

O Fator de Capacidade (FC) do sistema total obtido ao longo dos 365 dias (8760 horas) de operação do SFV completo a partir da energia total produzida (161.526,90 kWh) e da potência nominal (171,6 kWp), foi de 11,16%, ficando abaixo do percentual esperado.

CONCLUSÕES

A cidade de Floriano, na qual está localizada a Usina Fotovoltaica em análise, apresenta índices de radiação propícios para geração de energia e observa-se na região o crescimento das instalações em geração distribuída (GD) ao longo dos anos, principalmente na classe de consumidor residencial, ficando muito atrás a classe consumidora Poder Público, que necessita de incentivos tanto na esfera municipal, estadual e federal para incrementar a geração elétrica através de fontes renováveis, principalmente a solar. Assim, avaliações de desempenho operacional são necessárias para justificar esses investimentos e corrigir eventuais problemas de sistemas que estão operando com rendimentos abaixo do esperado. O sistema do IFPI entrou em operação em maio de 2016 e considerando os resultados obtidos a partir da análise e da aplicação dos índices de mérito, foi possível observar que o rendimento calculado em comparação com índices de referências e estudos anteriores realizados na mesma usina está mais baixo.

Observou-se que em todos os índices de méritos aplicados na análise, o subsistema 1 com potência nominal de 53,06kWp apresentou maior produtividade, melhor desempenho e nível operacional superior ao subsistema 2 que tem uma potência nominal de 118,56kWp, mesmo esses subsistemas recebendo níveis de irradiação médios com valores próximos conforme fig.10.

O subsistema 1 apresentou melhor nível de operação em relação ao subsistema 2, mas considerando os subsistemas como uma só UFV, observa-se uma produtividade média de 977,90 kWh/kWp, um Parâmetro Rácio de 49,94% e um Fator de Capacidade de 11,16%, que são índices de mérito com valores mais baixos do que esperado.

Estudos realizados nessa mesma UFV em anos anteriores, tais como Avaliação técnico-econômica do desempenho

operacional do primeiro ano de geração de um SFVCR (Morais, Fabrício Higo M.et al., 2017), Análise comparativa de performance entre sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalado no Piauí e na Europa através de índices de mérito (Lima, Juliane Batista. et. al., 2018), Análise de viabilidade técnica na instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede em uma escola rural no âmbito do projeto escolas solares no Piauí (Junior, Paulo César da Silva. Et.al., 2021) foram tomados para comparação dos resultados mostrados na tabela 6.

Tabela 6 – Comparativo de análises do sistema fotovoltaico do IFPI – Campus Floriano

ANO DO ESTUDO	YF (kWh)	PR (%)	FC (%)
2017	1.708,11	81,20	19,50
2018		74,00	17,13
2021	1.493,10	73,54	17,04
2022	977,90	49,94	11,16

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com dados de análises do sistema

Tomando os índices de mérito calculados nesse trabalho com os valores de referências e comparando dados de análises anteriores realizadas no mesmo sistema, verificou-se uma queda nos valores dos índices do estudo atual. Isso pode ter acontecido devido a fatores não levantados nesse trabalho como o posicionamento e orientação, influência da temperatura, sombreamento e sujeira nos módulos, problemas nos inversores ou a própria degradação do sistema após 6 anos em operação. Levando-se em conta sua vida útil estimada para 25 anos e com base na análise, podemos concluir que o sistema está operando abaixo da capacidade. Assim, estudos posteriores mais completos deverão ser realizados no intuito de detectar anomalias e propor correções para redução das perdas e otimização dos resultados.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a DEUS, pela saúde, determinação e coragem pra enfrentar esse desafio gratificante e por permitir diariamente o nascer do Sol. A minha família que sempre me incentiva nessas caminhadas. Ao grupo de professores por compartilhar os ensinamentos que nos deixarão mais qualificados e aos colegas de turma que nessa jornada se tornaram amigos.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. Disponível em http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp (acessado em 02 dezembro 2022).

Almeida. M. P., Zilles. R. 2012. Cálculo de Parâmetros de Desempenho para Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES. São Paulo, Brasil.

ANEEL <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/atuacao-da-aneel-e-o-equilibrio-tarifario-comemoram-mais-de-15-03-gw-de-potencia-instalada-1> - acesado em 25/11/22 - 09:00h

Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). <https://www.absolar.org.br/>

Benedito. R. S., 2009, Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório, Dissertação de Metrado. PPGGE, USP, São Paulo

CRESESB. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em <<https://goo.gl/mRE8KW>> Acesso em 14/12/2022

CCST/LABREN/INPE, 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª edição. São Paulo - SP

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. Brasília: MME/EPE. p. 271, 2017b

IFPI, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2014. PDI 2015-2019 – Plano de Desenvolvimento Institucional

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP – Dados Históricos. 2021. Disponível em <https://portal.inmet.gov.br/serviços/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos>. Acesso em 10/12/2022.

Junior, Paulo César da Silva. Et.al., Análise de viabilidade técnica na instalação de um sistema fotovoltaico conectado á rede em uma escola rural no âmbito do projeto escolas solares no Piauí. Florianópolis – SC – IX Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2022

Lima, Juliane Batista. et. al., Análise comparativa de performance entre sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalado no Piauí e na Europa através de índices de mérito. Gramado – RS – VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018.

MARION, B. et al Performance parameter for grid-connected PV systems. Golden – Colorado: Photovoltaic Specialists Conference, IEEE, 2005

Moraes, A.M. 2013. Energia Solar Fotovoltaica no Piauí: Barreiras e Potencialidades, EDUFP

Morais, Fabrício Higo M.et al., Avaliação técnico-econômica do desempenho operacional do primerio ano de geração de um

SFVCR integrado à edificação. Gramado – RS – VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018.

OLIVEIRA, Kepler de Souza Filho; Saraiva, Maria de Fátima Oliveira. O Sol – A Nossa Estrela. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2017.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/>

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio (Org.). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Rio de Janeiro. 520 p. 2014.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

Urbanetz Júnior, J. et al., 2014. Análise do desempenho de dois anos de operação do sistema fotovoltaico conectado `rede elétrica do escritório verde da UTFPR. Recife – Pernambuco V CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar

URBANETZ JUNIOR, Jair. Energia Solar Fotovoltaica e o Desempenho do SFVCR do Escritório Verde da UTFPR. Palestra Instituto de Engenharia do Paraná – IEP. 2015

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS NA RESOLUTIVIDADE DE PROBLEMAS ENERGÉTICOS NA LOCALIDADE LAGOA REDONDA, MUNICÍPIO DE CAMPINAS-PI

*Pablo Kennedy Santana Santos
Dionatas Rayron da Silva Alves*

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade humana ao longo dos séculos, esteve diretamente relacionado com a capacidade de modificação do meio ambiente e a produção de energia, sendo comprovado que as sociedades que conseguiram dominar as técnicas para isso, evoluíram consideravelmente na história. Isso mostra que o domínio da produção de energia aliado com a preservação do meio ambiente são fatores fundamentais para o desenvolvimento sustentável de uma região.

Bernardino (2004) diz que os modelos de desenvolvimento socioeconômico implantados no Mundo, ao longo do século XX, tiveram como característica marcante provocar o êxodo rural, uma vez que para facilitar a disponibilização dos meios que poderiam

auxiliar o desenvolvimento, tais como indústrias, sistemas de transporte e comunicação, hospitais, escolas, universidades e energia, forçou-se a sociedade se concentrar em grandes centros urbanos.

A Organização das Nações Unidas, lançou os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável-ODS para que os países alcancem metas humanitárias e sustentáveis até o final do ano de 2030. Segundo a ONU, os objetivos buscam acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade¹. Ao todo são 17 objetivos e dois deles, o objetivo 7 e o 13, tratam das preocupações com o acesso à energia limpa e das mudanças climáticas. O objetivo 7, trata especificamente de energia limpa e acessível, ele tem a função de garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos. Já o objetivo 13, foca na necessidade de adotar medidas urgentes para acabar com as mudanças climáticas que afetam todos os países do mundo.

No Brasil, apesar de esforços do governo federal, que desenvolveu ao longo dos anos, uma política com programas para a erradicação da exclusão elétrica, tais como o programa Luz para Todos e o programa Mais Luz para a Amazônia, existem ainda inúmeras famílias em alguns estados brasileiros, sem acesso à energia, representando cerca de 0,2% da população, cerca de 420.000 mil pessoas, o que dificulta o desenvolvimento econômico e social destas. É o que aponta o indicador 7.1.1 – percentagem da população brasileira com acesso à eletricidade, fornecido pelo governo federal no ano de 2019².

Para alcançar o objetivo de atender todos os cidadãos brasileiros com energia elétrica é necessário diversificar a matriz elétrica, devido à grande extensão territorial do país. Criar formas descentralizadas de produção de energia, aumentando as redes de transmissão, distribuição e fomentar a criação de sistemas individuais são algumas maneiras para chegar a esse objetivo.

Dentre as formas de geração de energia, aquela produzida proveniente da fonte solar, a energia solar fotovoltaica, cresceu consideravelmente nos últimos anos, por ser uma fonte limpa de geração, pelas características climáticas favoráveis do Brasil, pela forma modular que possibilita a construção de usinas de energia fotovoltaica para diferentes cargas, pela facilidade em atender cargas isoladas e dispersas sem a necessidade de grandes investimentos. Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar-ABSOLAR, em janeiro de 2023, a fonte de energia solar já participava com 11,2% da matriz elétrica brasileira, empatando tecnicamente com a fonte de energia eólica na segunda posição de fontes de energia mais representativas, tendo um crescimento de mais de 69% comparado ao ano de 2022.

O Piauí é um estado que possui ótimas condições climáticas para a instalação de sistemas fotovoltaicos e possui ainda, regiões isoladas sem fornecimento de energia, desassistidas pelo poder público. A tabela 1, retrata os percentuais da população por estado, com acesso à eletricidade, da última série histórica do indicador ODS 7.1.1 - Proporção da população com acesso à energia elétrica, observa-se que o Piauí, no ano de 2019 ainda possuía 0,9% da sua população, aproximadamente 30.000 mil pessoas sem acesso à eletricidade (ODS Brasil,2022).

Tabela 1 - Indicador 7.1.1 - Proporção da população com acesso à energia elétrica (%).

Brasil e Unidade da Federação	Ano		
	2017	2018	2019
Brasil	99,8	99,7	99,8
Rondônia	99,9	99,8	99,9
Acre	95,9	96,3	97
Amazonas	98,7	98,3	98,4
Roraima	99,6	99,6	99,1

Pará	98,6	98,8	98,7
Amapá	99,4	100	99,6
Tocantins	99,5	98,9	99,3
Maranhão	99,5	99,4	99,4
Piauí	98,5	99,2	99,1
Ceará	99,9	99,9	99,8
Rio Grande do Norte	99,9	99,8	99,8
Paraíba	100	100	99,8
Pernambuco	99,9	99,4	99,8
Alagoas	99,8	99,6	99,7
Sergipe	99,9	99,6	99,5
Bahia	99,4	99,3	99,4
Minas Gerais	99,9	99,9	99,9
Espírito Santo	99,9	100	100
Rio de Janeiro	100	100	100
São Paulo	100	100	100
Paraná	100	99,9	100
Santa Catarina	100	100	99,9
Rio Grande do Sul	100	99,9	100
Mato Grosso do Sul	99,9	100	100
Mato Grosso	99,8	99,9	100
Goiás	99,7	99,9	99,9
Distrito Federal	100	99,9	99,8

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio.

Dentro desse percentual desassistido pelo poder público, encontra-se a Localidade Lagoa Redonda, localizada no município de Campinas-PI, região Centro-Sul do Estado. A Localidade é composta por 26 casas, onde as famílias vivem em um ambiente cooperativo, predominando a criação de carneiros,

porcos e galinhas, sem acesso à energia e com dificuldades no abastecimento de água.

Assim, o artigo tem como objetivo desenvolver soluções de engenharia para resolver o problema energético, utilizando sistemas fotovoltaicos isolados para atender as demandas dos moradores da Localidade Lagoa Redonda.

MÉTODOS E SOLUÇÕES

Para o desenvolvimento do artigo, a metodologia utilizada foi dividida em duas partes: o Projeto Técnico Social –PTS e o Projeto de Engenharia - PE.

Projeto Técnico Social

O projeto técnico social foi desenvolvido através de diagnóstico realizado por um profissional com formação em Assistência Social, responsável por fazer um diagnóstico na população local, com o objetivo de levantar e apontar as principais necessidades e carências da Localidade Lagoa Redonda. Foi elaborado um questionário que permitiu, através de entrevistas com a população, chegar às principais necessidades dos moradores.

Com as demandas levantadas, observou-se que as necessidades críticas da localidade seriam: dificuldade no acesso à um item básico como a água e o desejo de ter uma qualidade mínima de vida e conforto dentro de casa, utilizar uma geladeira para acondicionar alimentos, iluminação durante o período noturno, utilização de televisão, ventilador, etc.

Por se tratar de uma comunidade sem assistência do poder público, e que as soluções desenvolvidas seriam custeadas pelos próprios moradores, observou-se a expectativa de investimento das famílias, para se desenvolver soluções que se adequassem ao orçamento familiar.

Projeto de Engenharia.

O projeto de engenharia é a concepção de soluções para as principais demandas levantadas no projeto técnico social, desta forma passou-se a estudar e desenvolver soluções de engenharia para atender estas necessidades visando um menor custo possível.

Observou-se que existem dois poços na comunidade, sendo um com pouca vazão e com necessidade de melhorias e outro que possui um sistema elétrico com bomba e um gerador a diesel, que permite o acesso, ainda que precário e com alto custo, ao abastecimento de água. A energia proveniente para funcionamento da bomba, vem de um gerador, que funciona por um longo período de tempo durante o dia, o que provoca altos custos com combustível e com manutenções, ocasionando paradas frequentes e a conseqüentemente falta do insumo básico para a subsistência da população. Esse sistema de bombeamento, abastece duas caixas d'água, uma de 2.000 litros e outra de 1.000 litros, que por gravidade fornecem água até as residências mais próximas. A solução desenvolvida para este problema foi propor um sistema de abastecimento de água, alimentado por energia proveniente de gerador fotovoltaico, um sistema de bombeamento solar.

Para as solicitações que foram feitas ligadas à melhoria da qualidade de vida, foi proposto um sistema off-grid que produzisse energia para o funcionamento de uma geladeira, lâmpadas, televisão e ventilador, itens básicos e indispensáveis apontados pelos moradores para o uso no dia a dia.

Sistema de Bombeamento Solar

Para solucionar o problema de abastecimento de água da região, buscou-se um sistema de bombeamento solar, de baixo custo, facilmente encontrado no mercado, de rápida manutenção

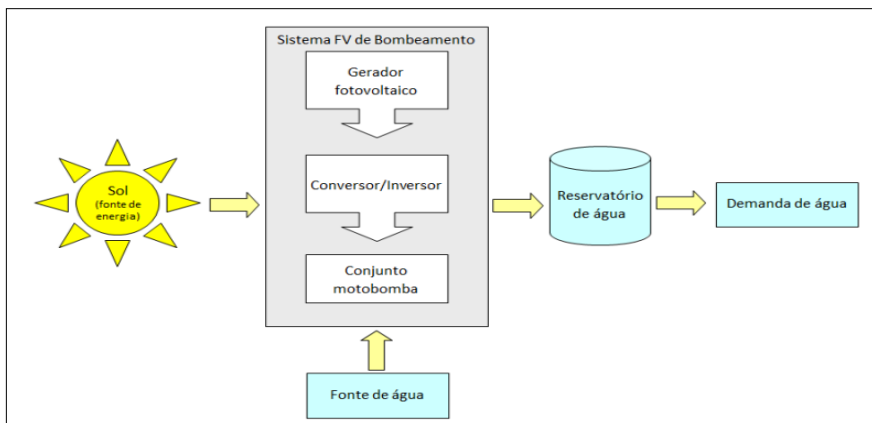
e que pudesse ser utilizado aproveitando-se o poço e o sistema de armazenamento de água existentes na comunidade.

O sistema de bombeamento de água suprido por energia solar fotovoltaica (SFV) começou a ser utilizado a partir de 1977 em vários países do mundo principalmente na África, Ásia e América do Sul. Estes sistemas, funcionando a mais de três décadas bombeando água potável em poços com profundidades até 120 m, utilizam bombas CC. No Brasil as primeiras experiências com sistema de bombeamento utilizando energia solar fotovoltaica datam do início da década de 80 (ANDRADE,2008).

Um sistema fotovoltaico de bombeamento (SBFV) é constituído por gerador fotovoltaico, dispositivo de condicionamento de potência (inversor, controlador de bomba), conjunto motobomba e reservatório de água (CEPEL, 2014).

A Figura 1, representa o esquema de funcionamento de um sistema de bombeamento solar.

Figura 1 - Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico de abastecimento de água.



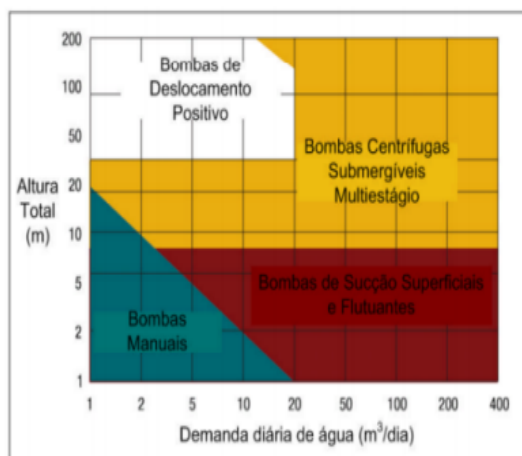
Fonte: Modificado de (FRAINDEIRAICH, 2002).

Bombas de água acionadas por meio de geração fotovoltaica são viáveis para abastecimento regular e confiável de regiões remotas. Ao comparar-se o custo de bombas de água utilizando geração fotovoltaica com sistemas a Diesel, as “bombas solares” são, geralmente, consideradas mais baratas, para vazões menores do que 50 m³ por dia e alturas manométricas menores do que 20 metros (muito embora isto varie com as condições locais, níveis de insolação diário e custo do combustível) (CEPEL, 2004).

Ainda que a tecnologia ofereça diversas possibilidades em termos de potência, a maioria dos sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados no Brasil não ultrapassa os 2 kWp de potência, com altura manométrica média em torno de 60 mca e vazão de até 40 m³ /dia. Ou seja, o nicho de aplicação do bombeamento fotovoltaico no país, devido a suas características de utilização, é para abastecimento humano e uso doméstico em pequenos povoados localizados em zonas rurais remotas (CEPEL, 2014).

Diversos são os tipos de bombas utilizados nos sistemas de bombeamento, sua utilização varia de acordo com o tipo de projeto. Podem ser classificadas de acordo com a sua localização como: bombas superficiais, submersas ou flutuantes. Para que escolha da bomba a ser utilizada no sistema seja correta deve ser determinada a vazão e altura manométrica total requerida, para assim determinar a bomba (MÉLENDEZ, 2009). A Figura 2 aponta um método para determinar os níveis de seleção para aplicação das bombas.

Figura 2 - Níveis de seleção de bombas hidráulicas em função da vazão e altura manométrica.



Fonte: adaptado de (MÉLENDEZ, 2009).

Desta maneira, conhecendo-se as condições de irradiação do local, a altura manométrica e a vazão de água necessária, pode-se dimensionar os elementos de um sistema de bombeamento solar para uma localidade.

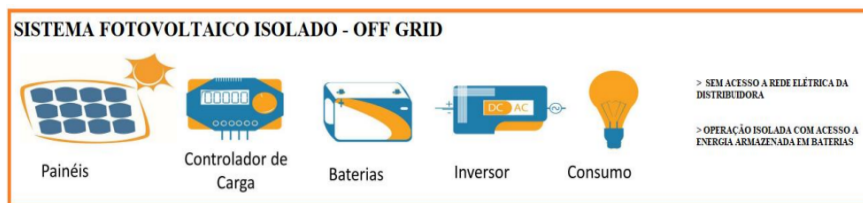
Sistemas isolados Off-Grid.

O acesso à energia elétrica é um dos agentes importantes para o desenvolvimento de um local, por isso é um direito essencial da população para o bem-estar de qualquer ser humano, garantindo-lhe qualidade de vida e sendo assegurada pela Constituição Federal (Camargo, Ribeiro, & Guerra, 2008).

Os sistemas FV isolados (SFI) são normalmente instalados em locais sem acesso à rede elétrica, e necessitam de um elemento armazenador de energia (URBANETZ, 2010). Para a armazenagem de energia, utiliza-se normalmente um banco de baterias. O fornecimento dessa energia pode ser tanto em corrente contínua

quanto em corrente alternada com a utilização de um inversor, todo esse processo é feito por um controlador de carga, que controla a carga e a descarga do banco de baterias (NUNES,2016). A Figura 3 ilustra todo esse processo.

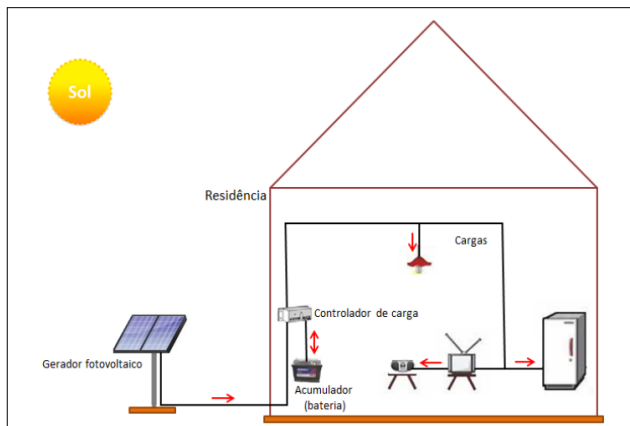
Figura 3 - Esquema ilustrativo de funcionamento de um sistema fotovoltaico - Off Grid.



Fonte: Notas de aula Curso Pós Graduação-Prof. Dionatas.

O fornecimento de energia com Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares (SFD) consiste na eletrificação das unidades domiciliares, mediante energia solar, permitindo aos moradores beneficiados ampliar seu leque de atividades, incluindo educação, lazer, produção, dentre outras atividades que melhoram significativamente a qualidade de vida dessas pessoas. Os elementos fundamentais que caracterizam um SFD são a própria carga e o gerador fotovoltaico. Como regra geral, o sistema deve possuir um acumulador, que permita dissociar o horário de consumo do horário da geração (CEPEL, 2014). A Figura 4, demonstra esquematicamente como os sistemas fotovoltaicos domiciliares funcionam e quais os seus principais elementos.

Figura 4 - Esquema simplificado de funcionamento de sistemas fotovoltaicos domiciliares.



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos - CEPEL 2014.

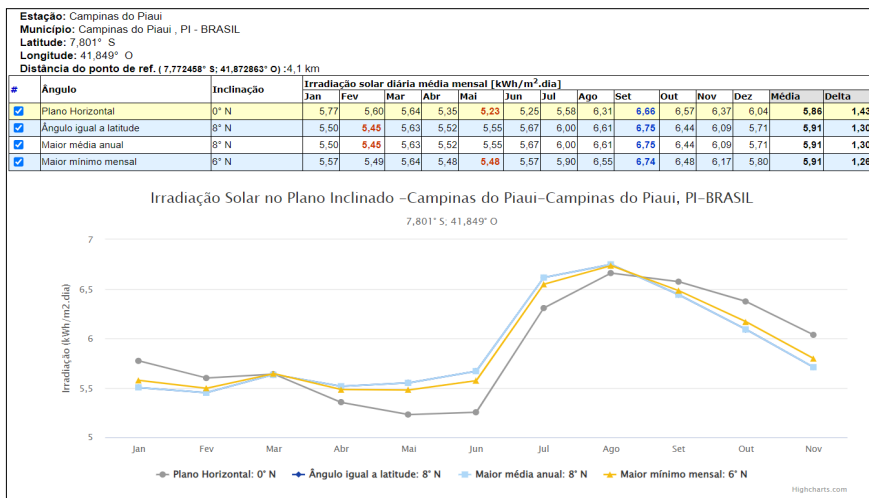
Para o dimensionamento deste tipo de sistema é importante conhecer a irradiação do local, que permitirá calcular as horas de sol pleno da região. Horas de Sol Pleno (HSP) é a grandeza que reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m^2 (1.000 W/m^2), de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dado dia (CEPEL-2014). Obtendo-se essa grandeza e o consumo necessário para o funcionamento dos equipamentos, especifica-se os elementos do sistema isolado.

Solução utilizando sistema de bombeamento solar

Na cidade de Campinas-PI as condições climáticas são bastante favoráveis para sistemas fotovoltaicos, uma vez que, a irradiação solar média atinge $5,84 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$, como mostra a Figura 5, obtida no site CRESESB, para as coordenadas

da Comunidade Lagoa Redonda (Latitude:7,772458°S, Longitude:41,872863°O).

Figura 5 - Dados de Irradiação Solar diária média mensal (kWh/m².dia).



Fonte: CRESESB

A água é obtida através de um poço com profundidade de 60 metros, sendo de nível estático 20 m e as caixas d’água estão instaladas próximo ao poço a uma altura de 3 m. Por razões de viabilidade financeira, já que apenas dois moradores se propuseram a fazer o investimento, buscou-se um sistema que opera entre 15 m e 30 m de altura manométrica e vazões de 3.000 L/dia a 5.000 L/dia, sem o uso de baterias, proporcionando redução de custos e diminuindo possíveis fontes de problemas operacionais e de reposição, já que os painéis fotovoltaicos, praticamente não demandam manutenção, ficando apenas o conjunto motobomba e drive como possíveis elementos para manutenções mais frequentes.

O sistema escolhido para o bombeamento, teve um custo de aquisição de R\$ 4.100 reais e está descrito nas Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2 - Especificações elétricas do conjunto motobomba.

Bomba Vibratória Solar Anauger P100	Driver 100
Bomba Submersa	Tensão máxima de entrada – 36 Vcc
Vazão Diária Máxima - 8.600 litros	Proteção contra choque elétrico – Classe I
Altura manométrica máxima – 40 metros	Resistência à umidade – IP 21
Potência Máxima de Painéis - 180 Wp	Comanda a energia fornecida pelo módulo solar.
Diâmetro da Tubulação - 3/4 pol	Drive Anauger Solar
Marca – Anauger	
Resistência à umidade – IP 68	
Peso – 5,39 kg	

Fonte: Datasheet fornecido pelo fabricante ANAUGER.

Para o módulo fotovoltaico, seguindo recomendações do fabricante foi escolhido o módulo solar Anauger SF 125X125-72-M (L), com dados especificados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados técnicos módulo solar escolhido.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Modelo	SF 125X125-72-M(L)
Potência máxima (Pmax)	175 W
Corrente ponto de máxima potência (Ipm)	4,90 A
Tensão ponto de máxima potência (Vpm)	35,7 V
Corrente curto-circuito (Isc)	5,20 A
Tensão em vazio (Voc)	44,6 V
Temperatura operação nominal das células (NOCT)	50°C
Tolerância de potência	±3%
Condição de teste	1000W/m ² ; AM1,5; 25°C

Tensão ponto de máxima do sistema	1000 V
Eficiência energética (PROCEL - INMETRO)	13,6% - Classe A
Geração com 12 anos	90% da potência
Geração com 25 anos	80% da potência
Dimensões	
Peso	16 Kg
Dimensões	1580 x 808 x 35 mmv
Célula tipo	Mono-Si
Classe de aplicação	Classe A
Classe de isolamento	Classe II

Fonte: Datasheet módulo solar Anauger.

As instalações foram feitas de forma a aproveitar o máximo da estrutura existente, diminuindo custos de implantação, como mostra as imagens.

Figura 6 - Instalação de módulo fotovoltaico e conjunto motobomba.



Figura 7 - Sistema fotovoltaico para bombeamento e armazenamento de água.



Solução utilizando sistema isolado off-grid

Para a realização dos cálculos para dimensionar o sistema isolado tomou-se como base, as orientações do Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014) desenvolvido pela CRESESB. A Tabela 4, especifica os principais equipamentos solicitados pelos moradores e as horas mínimas de uso, dessa forma chegou-se a um consumo mínimo diário para um domicílio. Todo o projeto foi desenvolvido considerando o mínimo valor viável para a execução, desde a aquisição do sistema fotovoltaico até a aquisição dos equipamentos domésticos a serem utilizados, tendo em vista que o custeio seria proveniente de recursos próprios dos moradores, o sistema fotovoltaico escolhido, teve o custo de aquisição de R\$ 6.900,00 reais.

Tabela 3 – Especificações dos equipamentos solicitados e horas mínimas de uso.

EQUIPAMENTO	Qt	POT(W)	FORN	HORAS/ DIA	POT TOTAL(W)	CONSUMO (Wh/dia)
Lâmpadas compacta	4	9	C.A	3	36	108
Geladeira 1 porta 240 litros - ELETROLUX	1	80	C.A	8	80	640
TV em cores 32"	1	150	C.A	3	150	450
					Consumo total	1.198

O consumo diário (Cd) mínimo para um domicílio encontrado foi de 1.198 Wh/dia. Para calcular a energia gerada por um painel fotovoltaico (EP), multiplicaremos a potência do painel fotovoltaico (Pp) pelo tempo de horas a Sol Pleno. Calcula-se o número de horas a Sol Pleno para a situação mais extrema, pela Fig. 5 observa-se que o mês de maio, menor média mensal, a Irradiação Solar diária média é de 5,48 kWh/m², assim dividindo-se o valor encontrado por 1 kW/m², encontra-se ao valor de Horas de Sol Pleno que é de 5,48 h. Os módulos fotovoltaicos propostos são da marca Risen, RSM-150P - PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO 150W (P) POLICRISTALINO, com as características elétricas definidas pelo fabricante, especificado na Tabela 4.

Tabela 4 – Especificações técnicas Painel Risen RSM-150P.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
Potência máxima (Pma): 150 W
Número de células: 36
Tensão de máxima potência (Vm): 18,3 V
Corrente da máxima potência (Im): 8,2 A
Tensão de circuito aberto (Voc): 22,3 V
Corrente do curto-circuito (Isc): 8,81 A

Tipo de células: Silício Policristalino
Eficiência do módulo: 15,15%
Tolerância de potência: +-3%
Dimensões(mm): 1480x680x35(mm)
Peso (kg): 11 kg

Fonte: Datasheet Fabricante Risen.

Para o painel, a energia produzida pelo mesmo é encontrada através da multiplicação da sua potência pelas horas de sol plena verificadas para aquela região, desta forma encontra-se que a energia produzida por um painel (E_p) é de 822 Wh/dia. Para se achar a quantidade de painéis (n) para suprir o consumo diário (C_d) do domicílio, divide-se o consumo diário (C_d) pela produção de energia de um painel (E_p), encontrando-se o valor de 1,46, para se achar um número inteiro, arredondando-se o resultado para 2 painéis fotovoltaicos.

O dimensionamento do banco de baterias, como em todo o projeto desenvolvido, considerou-se o mínimo produto viável para implantação, desta forma, adotou-se autonomia para o sistema de apenas 01 dia, profundidade de descarga máxima de 50% e tensão de bateria de 12 V. A bateria escolhida foi a Bateria Estacionária Moura Painel Solar 105ah 12v, modelo 12mn105 105AH 115AH e para calcular a quantidade, transformou-se o consumo diário(C_d) dado em Wh/dia em Ampere-hora por dia(Ah/dia), para isto, dividiu-se 1.198 Wh/dia por 12 V ,considerando a tensão da bateria, encontrando o consumo diário de 99,83 Ah/dia. Levando em consideração a profundidade da descarga determinada de 50%, encontra-se que o banco de baterias deve ter a capacidade de 199,67 Ah/dia, desta forma utilizou-se 2 duas baterias Estacionária Moura Painel Solar 105ah 12v.

O inversor escolhido, para atender as cargas instaladas, foi o da marca Hayonik de onda modificada com capacidade de 800W, com especificações apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Especificações Técnicas Inversor HAYONIK 800 W.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Tensão Entrada	10,5 VDC – 15 VDC
Saídas	1x 2P+T Universal, 1xUSB
Tensão Saída	202 VAC-231 VAC
Frequência	60 Hz
Forma de Onda	Modificada
Eficiência	>80%
Dimensões	202x153x61 mm
Peso	1,02 Kg
Potência:	800 W com pico 1600 W

Fonte: *Datasheet* inversor Hayonik.

Para o controlador de carga, foi escolhido o controlador da marca MaxPow, com capacidade de corrente de 40 A, modelo MPPT + PWM40A com tensão máxima em circuito aberto no painel de 48V. O sistema dimensionado foi apresentado para os moradores e inicialmente, instalado em uma das casas da Comunidade Lagoa Redonda, como mostra as Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Sistema montado com mínimo valor viável.



Figura 9 - Sistemas fotovoltaicos para bombeamento e atendimento a demandas mínimas de qualidade de vida.



Resultados obtidos

O sistema de bombeamento solar, permitiu a eliminação dos custos com combustível desses moradores, desafogando o orçamento familiar, permitindo outros investimentos como a aquisição de novas cabeças de criação e sementes, além de garantir vazão d'água para as atividades do dia a dia e plantio. O sistema trouxe uma garantia mais precisa de acesso à água.

Figura 10 – Crianças da localidade banhando com o sistema de bombeamento solar.



O sistema off-grid apresentado, permitiu o acondicionamento de carnes frescas por mais tempo, reduzindo o preparado de carnes como charque e o consumo de sal. A água utilizada para consumo pôde ser refrigerada e consumida mais gelada. Os dias foram prolongados, já que com a iluminação as famílias passaram a conviver por mais tempo no horário noturno, além de melhorar a qualidade de vida, permitindo o funcionamento de ventilador, carregamento de celular rural, etc.

Figura 11 - Equipamentos alimentados pelo sistema off-grid.



Para se garantir uma melhor qualidade e eficiência do sistema, foi orientado que a geladeira, por ser o equipamento de maior consumo diário, fosse substituída por uma de melhor eficiência e consumo energético, com o selo Procel A, de forma que ela possa funcionar por mais tempo durante o dia, garantindo a eficiência do sistema dimensionado.

Considerações finais

De fato, o acesso à energia elétrica transforma positivamente a vida das pessoas, como se chegar a isso com baixo custo, poucos impactos ambientais, atendimento de 100% da população e com a utilização de fontes renováveis é o grande desafio da humanidade. A preocupação da Organização das Nações Unidas em traçar metas que envolvem acesso à energia por todos, proveniente de fontes limpas e a preocupação com as mudanças climáticas mostram que esse tema é de extrema importância para a sociedade e andam juntos. A energia elétrica permite a utilização de diversos equipamentos que melhoram a saúde, produção, educação, convívio social, a vida em geral da população. A energia possibilita o acesso à cidadania e a torna mais humana.

Considerando todos esses benefícios foi desenvolvido para a população um projeto de minicentro comunitário com fornecimento de energia elétrica através de sistema isolado off-

grid, onde os moradores poderiam fazer uso compartilhado de geladeiras e freezers para acondicionar alimentos e água, serviria de área de convívio com televisão, área para receberem cursos profissionalizantes através do acesso à internet rural, capacitações em áreas que melhorariam o desenvolvimento do dia a dia da comunidade.

Por ser um projeto maior e com recursos significativos para a comunidade, o poder público poderia viabilizar a estruturação do projeto, proporcionando uma verdadeira inclusão daqueles ao assistencialismo municipal. Por outro lado, a própria comunidade poderia se organizar em cooperativa e buscar financiamento do projeto em bancos públicos. Esta seria uma maneira de atender de forma objetiva às necessidades da localidade, sem o investimento em grandes linhas de distribuição de energia.

Figura 12 - Proposta de minicentro comunitário



Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pela saúde e disposição fornecida diariamente para me manter de pé. Agradeço ao meu filho Guilherme Almeida Santana, que é uma grande inspiração e fonte de forças, ao meu amigo, sócio, Eng. José Alberto Guimarães, que vislumbrou e foi o grande incentivador do desenvolvimento do trabalho realizado na Comunidade Lagoa Redonda, a assistente

social Fabianna Guimarães, pelo auxílio nas atividades sociais, a empresa Projecta Solar que operou e executou todos os sistemas. Sem eles, não conseguiria chegar até aqui.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/> acessado em 18/01/2023.

ALVES, Dionatas Rayron S. Sistemas Fotovoltaicos Off Grid. (2009). [Notas de aula de apoio à disciplina Sistemas Fotovoltaicos Off Grid, lecionada na Universidade Federal do Piauí – UFPI].

ANDRADE, E. H. et al. Sistema de bombeamento de água com energia solar fotovoltaica utilizando motor de indução trifásico – Universidade Federal do Ceará, 2008.

BERNADINO, Frederico. M. T. DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA E DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO: o caso das comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo – USP, 2004.

BOSO, ACMR, Gabriel, CPC, & Gabriel Filho, LRA (2015). Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no brasil. Revista Científica ANAP Brasil, 8(12). https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/1138

CAMARGO, E., Ribeiro, FS, & Guerra, SMG (2008). O programa Luz para Todos: metas e resultados. Espaço Energia, 9, 21-24. <http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/9/EE009-04.pdf>.

CATALOGO BOMBA ANAUGER SOLAR. Disponível em: <https://anauger.com.br/linha-anauger-solar/anauger-solar-p100/> acessado 18/01/2023.

CRESESB-Dados de Irradiação Solar. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data> acessado em 18/01/2023.

Dados técnicos painéis Risen. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-150w-risen-rsm36-6-150p.html#especificacao> acessado em 18/01/2023.

Dados Técnicos inversor Hayonik. Disponível em <https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-800w-12-220v-hayonik-onda-modificada.html>, acessado em 23/01/2023.

Grupo de Trabalho de Energia Solar, Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos - CEPEL-CRESESB 2004.

Grupo de Trabalho de Energia Solar, Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos - CEPEL-CRESESB 2014.

MÉLENDEZ, T. A. F. Avaliação de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo - USP, 2009.

Manual de Instalação Solar Anauger, 2019. Disponível em: https://anauger.com.br/wp-content/uploads/2019/12/SITE-49177-MANUAL_SOLAR_PORTUGUES__REV-16-SET-19-CURVA.pdf acessado em 18/01/2023.

NUNES, A. J. A. ANÁLISE DOS FATORES DE PERDAS NOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA EM CURITIBA. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2016.

URBANETZ JR, J. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da

Energia elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2010.

1-Nações Unidas Brasil, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> acessado em 18/01/2023.

2-Objetivos de Desenvolvimento Sustentável-Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo7/indicador711> acessado em 18/01/2023.

ESTUDO DAS PROPRIEDADES ACEITADORAS E DOADORAS DE ELÉTRONS EM CÉLULAS ORGÂNICAS FOTOVOLTAICAS (OSCS) E SUAS INTERAÇÕES INTERMOLECULARES COM OS SOLVENTES

*Marinaldo Sousa de Carvalho
Alexandre de Castro Maciel*

INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos e o avanço do desenvolvimento social das populações, seja nos grandes centros, seja em áreas isoladas, é visível o aumento no consumo cada vez maior das fontes energéticas. Isso é perfeitamente visível em virtude do maior crescimento da população mundial. Este desenvolvimento está diretamente ligado à busca de uma melhor qualidade de vida por parte da população. Especialmente em países em desenvolvimento isso é visível, por se tratar de um ponto necessário ao seu crescimento, também o aumento na aquisição de bens de consumo, por parte da população, que na maioria das vezes estão ligados ao consumo de energia.

A possibilidade de se esgotarem os recursos naturais e os impactos ambientais por eles causados, que podem ser advindos dessa exploração das matrizes energéticas tem proporcionado cada vez mais a necessidade de energias alternativas de fontes renováveis. A preocupação com os impactos ambientais provocadas pelo elevado e crescente consumo de energia de fontes não-renováveis, devido a produção de novas hidrelétricas, queima de fontes minerais e vegetais, tais como carvão e petróleo, talvez sejam um dos grandes problemas enfrentados, o que induz cada vez mais ao incentivo de novas fontes energéticas tais como eólica e solar. Como resultado disso, têm-se verificado um aumento no incentivo ao uso de fontes de energias renováveis. No entanto, esse incentivo à nível de Brasil, ainda não há muito investimento comparado a outras fontes de geração de energia.

A utilização do recurso solar disponível no Brasil poderia amenizar ou até evitar as crises hídricas que às vezes ocorrem. Os reservatórios nem sempre estão com a sua capacidade suficiente para geração de energia. Em contrapartida, a fonte solar é observada na maior parte do ano, mesmo em meses de baixa intensidade de irradiação solar. No entanto, apesar de ainda pouco incentivada e explorada, devido aos elevados custos para aquisição de um sistema fotovoltaico, essa fonte de energia tem crescido e a sua expansão depende bastante de incentivos financeiros para sua instalação em massa, tanto para uso doméstico quanto para uso industrial. Apesar disso, é possível prever que a utilização dos recursos da energia solar tende a suprir essa necessidade energética do Brasil. Pois, nos próximos 10 anos, haverá um crescimento significativo de produção de energia primária acentuando os excedentes de energia na matriz energética nacional, atingindo 140 milhões de toneladas equivalentes de petróleo em 2030, o que equivalerá a cerca de 25% da produção total de energia no País (<https://www.epe.gov.br>), acompanhado do crescimento populacional e conseqüentemente dos bens de

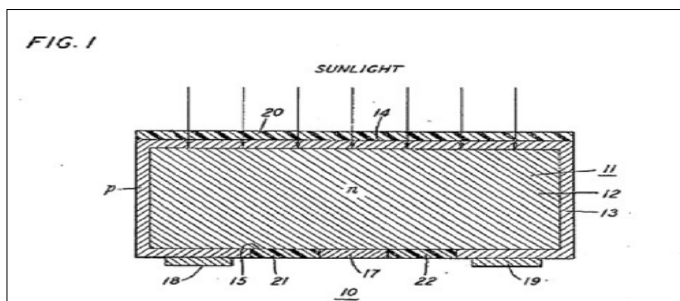
consumo (Varandas, 2006). Há ainda que se trabalhar muito no sentido do crescimento na produção de energia renovável e uma das grandes formas disso acontecer é a maior produção e instalação de sistemas conectados à rede elétrica, particularmente a partir dos sistemas fotovoltaicos, sendo isso favorecido pela REN 482/2012, especificamente o Artigo 2º que trata da geração de energia, complementada pela Lei 14300/2022, a qual determina algumas normas para a instalação e autoconsumo de energia solar, instituindo também o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. Isso significa que a legislação concede ao consumidor o direito de produzir sua própria energia elétrica por meio de fontes renováveis.

A descoberta do efeito fotovoltaico deu início à tecnologia solar fotovoltaica em 1839 por Alexandre-Edmund Becquerel, enquanto ele estudava o efeito da luz sobre células eletrolíticas (Razoykov *et al*, 2011). Observaram que duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido produziam eletricidade quando expostas à luz solar (Machado e Miranda, 2015). Outros efeitos similares foram observados por outros cientistas em outros materiais, tais como o selênio (Se), em décadas depois (El Chaar *et al*, 2011). Já em 1877, dois inventores americanos, William Grylls Adams e Richard Evans Day, utilizando as propriedades fotocondutores do selênio desenvolveram o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz (Vallera e Brito, 2006). Em 1883, Charles Fritts, construiu a primeira bateria solar feita a partir de folhas de selênio. Mesmo apresentando uma baixa eficiência de conversão elétrica de apenas 1%, foi considerado um avanço, uma vez que as pessoas não acreditavam na possibilidade de gerar energia de outras fontes que não aquelas provenientes da queima de combustíveis (Machado e Miranda, 2006).

Em 1853, o químico Calvin Fuller desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, no intuito de controlar as suas propriedades elétricas. Em seguida,

o Físico Gerald Pearson, verificou que produzia uma corrente elétrica quando a amostra era exposta à luz, produzindo assim a primeira célula solar fotovoltaica a partir do silício (Morais, *et al*, 2021). Após ensaiar a nova célula e realizar outros testes, Pearson e o engenheiro Daryl Chapin, conseguiram atingir uma eficiência recorde na época de 6% (Vallera e Brito, 2006). O desenvolvimento da primeira célula de silício (Fig. 1) foi fundamental para o início do desenvolvimento das tecnologias solares, pois representava aqui a unidade básica e fundamental da conversão de energia em um sistema fotovoltaico (El Chaar *et al*, 2011).

Figura 1 – Extraído da patente da primeira célula solar de silício.



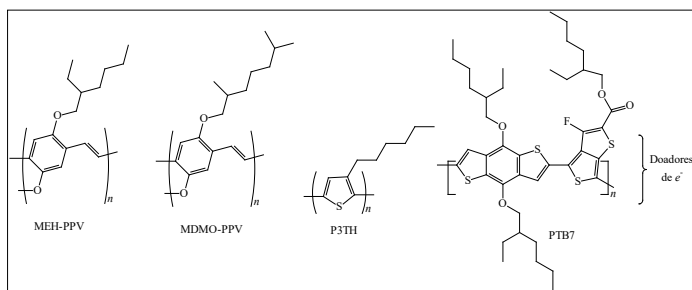
Fonte: Morais, *et al*, 2021

A primeira aplicação dos sistemas fotovoltaicos foi realizada na cidade de Americus, no estado da Geórgia, nos EUA, para alimentar uma rede telefônica local. O módulo era composto por 9 células com 30 mm de diâmetro e foi montado em outubro de 1955 e removido em março de 1956 (Morais, *et al*, 2021). Os resultados foram promissores, no entanto, rapidamente se compreendeu que o custo das células solares era bastante elevado. Além disso, sua utilização só poderia ser economicamente competitiva em aplicações muito especiais, por exemplo, produção de eletricidade no espaço (Vallera e Brito, 2006). Finalmente, na década de 1950, o desenvolvimento das células fotovoltaicas se deu em virtude

dos programas espaciais que passaram a utilizar em satélites, essa tecnologia como fontes de energia (Razoykov *et al*, 2011). **Vanguard 1** foi o primeiro satélite artificial alimentado por energia solar. O lançamento foi no dia 17 de março de 1958, na Estação da Força Aérea de Cabo Canaveral na Flórida, Estados Unidos. Fonte: (<https://www.canalsolar.com.br>).

A presença de ligações simples e duplas alternadas (sistemas conjugados) entre átomos de carbono de uma molécula orgânica determinam as propriedades eletrônicas de determinados materiais. Essa alternância de ligações conjugadas faz com que os elétrons π sejam deslocalizados, conferindo à molécula uma característica semicondutora. Sendo assim, este tipo de ligação é responsável pelas propriedades optoeletrônicas das moléculas. Na Fig. 2 são apresentadas algumas dessas moléculas orgânicas conjugadas e que são utilizadas como materiais na camada ativa de células solares orgânicas. Os doadores de elétrons são os polímeros MEH-PPV, MDMO-PPV, P3HT e PTB7. e os aceptores de elétrons são PC₆₁BM e PC₇₁BM (Araújo, 2018).

Figura 2: Estruturas de moléculas doadoras e receptoras em células orgânicas solares.

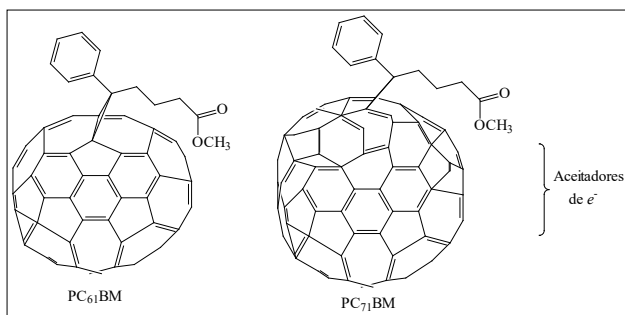


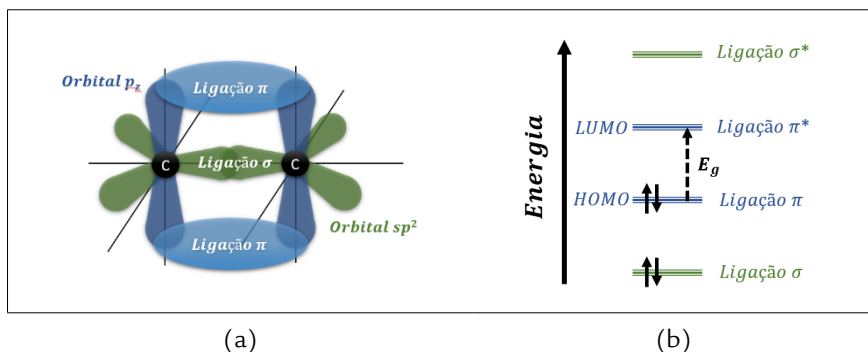
Fonte: o autor

As propriedades semicondutoras dessas moléculas são explicadas em termos de orbitais. Uma vez que carbonos com

dupla ligação apresentam hibridação sp^2 , e na forma de orbitais sobrepostos observa-se a ligação π acima e abaixo do plano p_z (Fig. 3a). As ligações sigma (σ) e pi (π) apresentam seus orbitais moleculares na forma de orbitais ocupados ligantes (σ e π) e orbitais desocupados antiligantes (σ^* e π^*). Ao sofrer excitação eletrônica estes orbitais podem apresentar uma transição do tipo π - π^* . Assim, dão origem aos orbitais moleculares ligantes e antiligantes, que definem o HOMO (orbital molecular ocupado de mais alta energia) e o LUMO (orbital molecular desocupado de mais baixa energia). A Fig. 3b apresenta o diagrama dos orbitais moleculares ligantes e dos antiligantes. A diferença entre os níveis HOMO e LUMO dessas ligações π é a energia do *gap*, ou seja, a lacuna de energia (E_g) que está relacionada com as propriedades semicondutoras dos polímeros conjugados.

Figura 3- a) Representação dos orbitais sp^2 e p_z e das ligações π e σ dos átomos de carbono. b) Diagrama dos orbitais moleculares ligantes (σ e π) e dos orbitais moleculares antiligantes (σ^* e π^*). HOMO é o orbital molecular ocupado de mais alta energia e LUMO é o orbital desocupado de mais baixa energia. E_g é a energia do gap (ou largura da banda proibida), cujo valor é a diferença de energia dos níveis HOMO e LUMO.

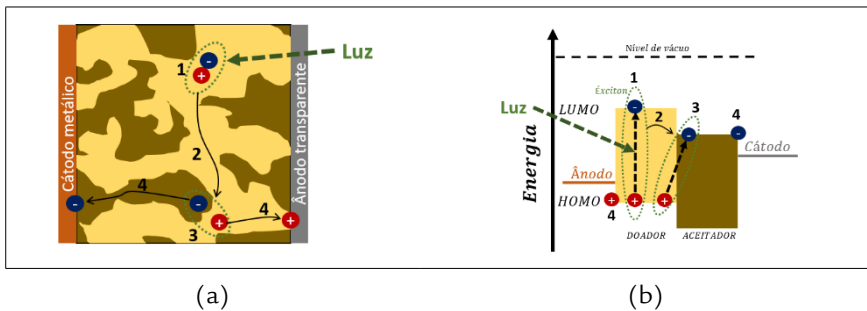




Fonte: O autor

Uma célula solar orgânica (OPV) é constituída de uma camada ativa colocada entre um eletrodo transparente (ânodo) e um eletrodo metálico (cátodo), com diferentes funções de trabalho, sendo que a camada ativa pode compreender uma ou mais camadas semicondutoras. Os materiais que compõem a camada ativa são geralmente um polímero e uma molécula orgânica eletronegativa (Fig. 4a). A geração da fotocorrente na OPV funciona da seguinte forma: A luz solar incide na célula fotovoltaica através de um eletrodo condutor e transparente (Fig. 4a). A luz então chega aos materiais da camada fotoativa e é absorvida pelo **polímero** absorvedor (Fig. 4a-1). Quando isso acontece o fóton é absorvido pelo polímero e um elétron é promovido do nível HOMO para o nível LUMO originando um par elétron-buraco chamado de éxciton (Fig. 4b). O éxciton poderá se difundir (Fig. 4b-3), até encontrar a interface entre o polímero e o outro composto da camada ativa, em geral **fulereno** (aceitador). Tal processo é seguido da dissociação do éxciton e formação de um estado ligado denominado de “Estado de Transferência de Carga” (CT), conforme Fig. 4b-4.

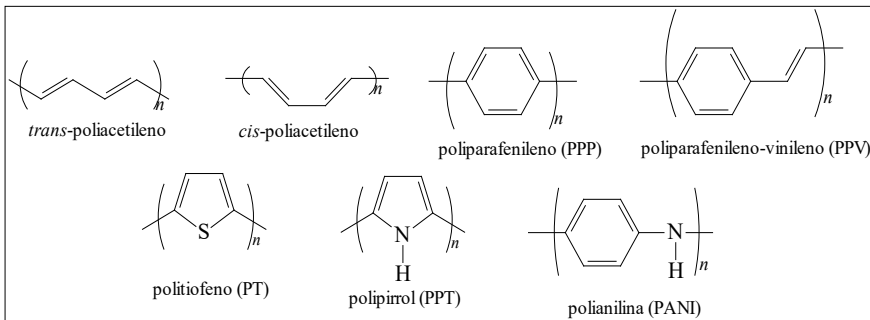
Figura 4- a) Processo de geração de fotocorrente em células solares orgânicas de heterojunção de volume (BHJ). b) Diagrama dos níveis de energia das camadas doadora e aceitadora e dos eletrodos.



Fonte: O autor

A absorção do fóton pela camada ativa é limitada pela diferença entre os níveis HOMO e LUMO, ou seja, pelo *gap* de energia (E_g) do polímero semiconductor, de tal maneira que somente fótons com energia maior do que E_g podem ser absorvidos. Assim, quanto menor o valor de E_g , maior será a absorção de luz pela camada ativa da OPV. Na Fig. 5 são apresentados outros exemplos de polímeros utilizados como doadores em células orgânicas solares (Coutinho, 2015):

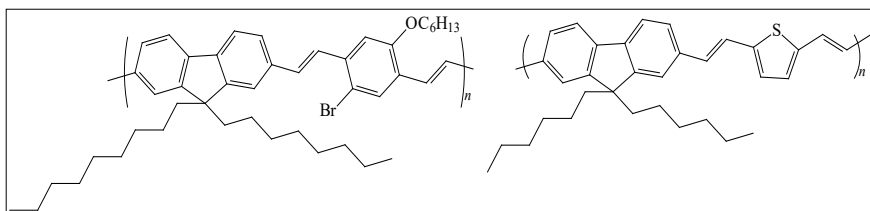
Figura 5: Exemplos de polímeros utilizados como doadores em células orgânicas solares.



Fonte: O autor

Outros compostos que podem ser incluídos são os copolímeros derivados do polifluoreno (Fig. 6), que possuem elevada mobilidade de cargas, devido à rigidez do grupo fluoreno e a presença de grupos conjugados contendo heteroátomos que possuem a propriedade de reduzir a energia de *band gap*, ocasionando o aumento na absorção de luz por parte dos polímeros (Freitas, 2010).

Figura 6: Copolímeros derivados do polifluoreno, poli (*p*-fenilenovinileno), PPV, contendo diferentes concentrações de unidades funcionais tiofeno e fluoreno, que possuem elevada mobilidade de cargas.



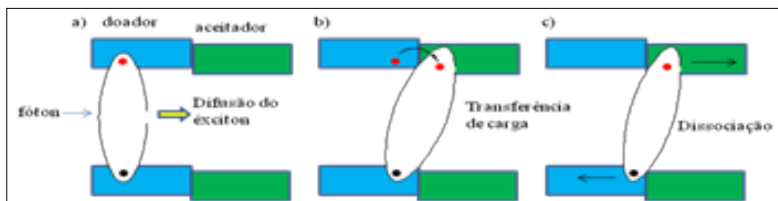
Fonte: O autor

Os mecanismos e os fatores envolvidos na fotogeração de cargas em células orgânicas solares (OPVs), ajudam a explicar a perda de eficiência de conversão (Coutinho, 2015). Assim, a eficiência final (η) depende dos seguintes fatores: Absorção (η_{abs}), difusão do éxciton (η_{dif}), dissociação do éxciton (η_{dis}), transporte de carga (η_{tr}) e coleta de cargas (η_{col}) pelo eletrodo. Sendo assim, essa eficiência final é dada pela Eq. 1:

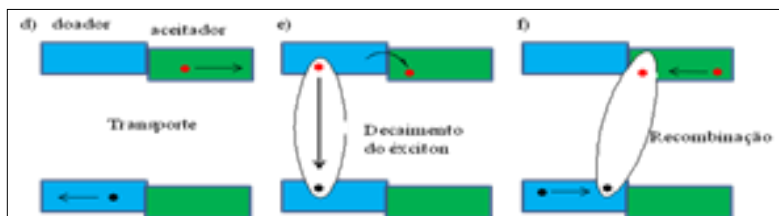
$$\eta = \eta_{abs} \times \eta_{dif} \times \eta_{dis} \times \eta_{tr} \times \eta_{col} \quad (1)$$

Esquemáticamente, o processo de fotogeração de corrente pode ser ilustrado conforme a Fig. 7.

Figura 7 - Processo envolvidos na fotogeração e recombinação de cargas na interface doador/aceitador; a) absorção do fóton, b) transferência dos elétrons do doador para o aceitador formando o CT-éxciton, c) dissociação do par CT-éxciton, d) transporte de cargas, e) recombinação geminada e f) recombinação bimolecular.



(a)



(b)

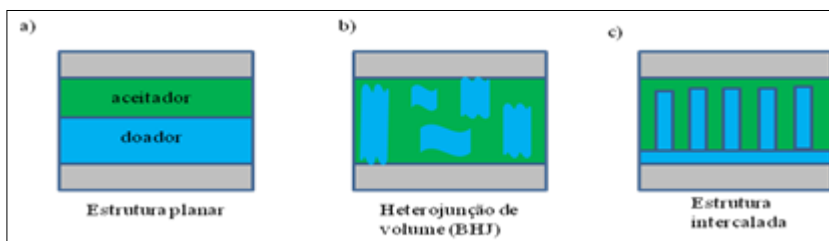
Fonte: O autor

Quando um elétron é promovido do orbital de valência, HOMO, para o orbital de condução, LUMO, do semiconductor, um buraco (devido a saída do elétron) é formado no orbital de valência. Um par formado pelo elétron e o buraco são chamados de **éxciton**. O comprimento de difusão do éxciton é pequeno em semicondutores orgânicos e isso requer que a separação de fase entre o polímero e o fulereno seja pequena o suficiente para evitar recombinação. Em se tratando de separação de fases, há três tipos de misturas (heterojunção), que são utilizadas: Planar, de volume (BHJ) e intercalada. Na planar (Fig. 8), as duas camadas de polímero (doador) e fulereno (aceitador), são depositadas em sequência, formando uma interface entre os dois materiais, resultando numa forma plana. Aqui, há baixa

eficiência de conversão devido à maioria dos éxcitons formados não conseguirem chegar à interface para serem dissociados pela molécula aceitadora.

Com o objetivo de aumentar a área interfacial entre os dois materiais, é comumente usado a heterojunção de volume. O polímero e o fulereno são misturados numa determinada proporção equivalentes em massa e dissolvidos num solvente comum aos dois, sendo a camada ativa formada pela mistura de dois materiais, formando uma separação de fase do tipo decomposição espinodal. No terceiro tipo, estrutura intercalada, tem como objetivo aumentar a difusão e reduzir a probabilidade de recombinação. No entanto, embora o problema da baixa eficiência de difusão do éxciton seja amenizado com BHJ, a elevada separação de fase entre o doador e o aceitador, isso aumenta a probabilidade de haver recombinação de carga durante o transporte e coleta das cargas pelos eletrodos. Mesmo assim, a maioria das células solares orgânicas tem estruturas do tipo heterojunção (Fig. 8).

Figura 8 – Tipos de arquiteturas/estruturas para a construção de uma célula solar orgânica; a) estrutura do tipo bicamada, b) heterojunção de volume (BHJ) e c) estrutura intercalada.



Fonte: O autor

Em polímeros conjugados, o transporte de cargas é comandado pela estrutura química da molécula, pelas interações intra e intermoleculares e pela desordem energética e morfológica.

Sendo a eficiência no transporte de carga limitada pela presença de armadilhas (*traps*). *Traps* são estados energéticos localizados em que a carga permanece mais tempo nesse estado do que participando da condução.

Outro fator que também interfere na eficiência energética das células solares é a recombinação de carga. No caso particular das células solares orgânicas há dois tipos de recombinação. A primeira é a recombinação de 1ª ordem, monomolecular e geminada, ou seja, é uma recombinação onde as cargas envolvidas no processo possuem o mesmo éxciton de origem. Nesse segundo tipo, envolve a recombinação de 2ª ordem, bimolecular e não-geminada. Na recombinação bimolecular as cargas envolvidas foram geradas a partir de diferentes éxcitons.

Este trabalho tem como objetivo geral discutir a relação estrutura/solubilidade de aceitadores de elétrons em função dos grupos funcionais presentes em suas estruturas moleculares e como objetivos específicos discutir as interações intermoleculares e miscibilidade, observando as estruturas e grupos funcionais presentes tanto nos solventes, quanto nos aceitadores de elétrons dessas células orgânicas solares, bem como avaliar a relação toxicidade/periculosidade dos solventes organo-halogenados em células fotovoltaicas orgânicas.

METODOLOGIA

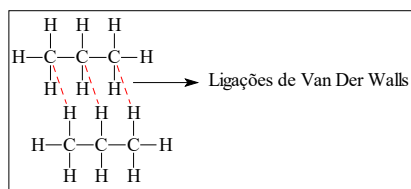
A metodologia utilizada, baseou-se num levantamento bibliográfico na literatura para se ter um maior aprofundamento e melhor conhecimento acerca do desenvolvimento e funcionamento detalhado de células solares orgânicas de doadores e aceitadores de elétrons, em seguida, com um direcionamento voltado para os solventes utilizados em diversos substratos, diferentes tanto em estruturas quanto em suas propriedades aceitadoras de elétrons em células orgânicas fotovoltaicas. Sendo que, ainda em relação

aos solventes, será investigada a sua viabilidade de uso em função especialmente de suas toxicidades, verificando-se os mais comumente trabalhados, sejam eles halogenados ou não, tais como: xileno, tolueno, trimetilbenzeno, mesitileno e alguns outros derivados do THF (tetrahydrofurano).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em química orgânica há basicamente três tipos de ligações químicas intermoleculares que predominam: Ligações do tipo Van der Walls (Fig. 9), que são ligações mais fracas, responsáveis pela interação entre moléculas apolares, em geral os hidrocarbonetos, H e C de moléculas distintas (Morrison, *et. al.* 1996; Vollhardt, *et.al.*2004; Solomons, *et. al.* 2006);

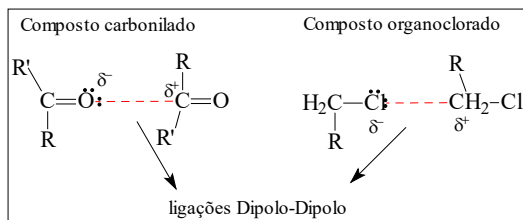
Figura 9: Ligações intermoleculares do tipo Van der Walls entre moléculas de hidrocarbonetos.



Fonte: o autor

Outro exemplo é o de ligações Dipolo-Dipolo (Fig. 10), que são observadas em um dipolo positivo de uma molécula e o dipolo negativo de outra. Em geral ocorrem entre moléculas contendo grupos carbonilas, carboxilas e compostos halogenados, sulfurados e nitrogenados e devido haver forças eletrostáticas, estas são ligações mais fortes que as de Van der Walls (Morrison, *et. al.* 1996; Vollhardt, *et.al.*2004; Solomons, *et. al.* 2006).

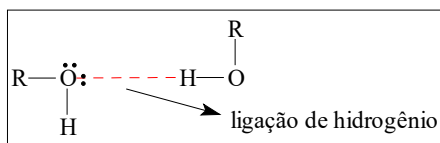
Figura 10: Ligações intermoleculares do tipo Dipolo-Dipolo entre moléculas orgânicas funcionalizadas.



Fonte: o autor

Um último tipo de ligações é chamado de ponte de hidrogênio (Fig. 11), que ocorrem entre moléculas que apresentam os grupos O-H e N-H, mais raramente S-H. Sendo estas (O-H e N-H) consideradas interações intermoleculares mais fortes (Morrison, *et. al.* 1996; Vollhardt, *et.al.*2004; Solomons, *et. al.* 2006).

Figura 11: Ligações intermoleculares do tipo pontes de hidrogênio entre moléculas orgânicas com grupos O-H.



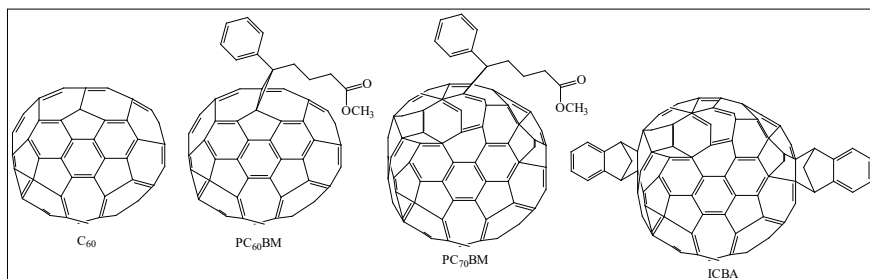
Fonte: o autor

Em células solares orgânicas de heterojunção existem a presença de doadores e aceitadores de elétrons. Materiais aceitadores de elétrons podem ser classificados como fullerênicos e não-fullerênicos. Os materiais fullerênicos são compostos orgânicos alotrópicos do grafite e do diamante, possuindo anéis com 60 carbonos todos conjugados com ligações π (C_{60}). Suas características como semicondutoras as tornam bastante utilizadas em células orgânicas solares (OSCs). Sua estrutura cíclica, em formato de “gaiola” implica numa rápida absorção de

elétrons provenientes da fotoindução de um doador, em geral um polímero conjugado também com ligações π (Menezes, 2018).

Os aceitadores orgânicos a base de fulereno (C_{60}), apresentam elevada mobilidade eletrônica com transporte de carga tridimensional. Estes aceitadores eletrônicos utilizados em dispositivos fotovoltaicos orgânicos (OSCs), conhecidos como aceitadores fullerênicos (FAs) tem sido prevalente por quase duas décadas. Alguns exemplos típicos são mostrados na Fig. 12 (Bi, *et. al.* 2021):

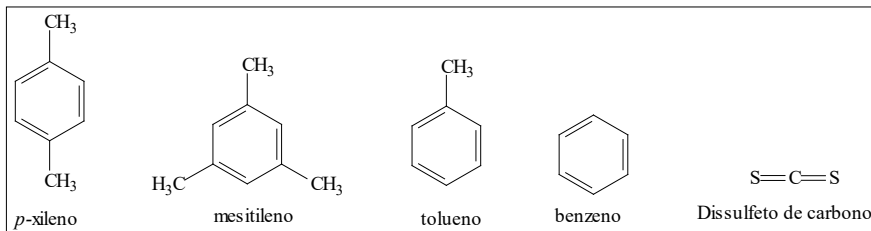
Figura 12 - Estruturas químicas de fulerenos e demais derivados fullerênicos.



Fonte: O autor

O primeiro deles a ter sido sintetizado foi o fulereno C_{60} em 1985. Servindo como ponto de partida para o desenvolvimento dos dispositivos fotovoltaicos orgânicos (OPVs), em virtude de sua elevada mobilidade e afinidade eletrônica. (Bi, *et. al.* 2021) Entretanto, por se tratar de um alótropo do C, ou seja, formado apenas por átomos de carbonos com ligações duplas conjugadas entre si, é, portanto, bastante apolar. O C_{60} é solúvel apenas em solventes apolares, tais como *p*-xileno, mesitileno, tolueno, benzeno (através de ligações de Van de Waals do tipo C-H), dissulfeto de carbono, conforme estruturas mostradas na Fig. 13.

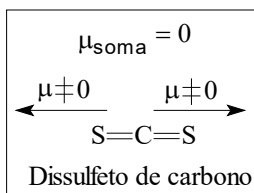
Figura 13: Dissulfeto de carbono, benzeno e seus derivados, utilizados como solventes



Fonte: o autor

Conforme já mencionado, o fulereno C_{60} é classificado como alótropo do C e não como um hidrocarboneto, pois este não possui átomos de H em sua estrutura. Das demais estruturas apolares mostradas acima, o dissulfeto de carbono também não é um hidrocarboneto. Trata-se também de um composto com momento dipolar igual a zero (Fig. 14), sendo assim, apolar. Dessa forma, também um bom solvente para o C_{60} .

Figura 14: Momento dipolar nulo na molécula de dissulfeto de carbono.

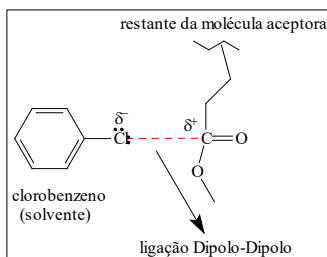


Fonte: o autor

Essa característica apolar do C_{60} o torna insolúvel em moléculas polares tais como os organoclorados clorobenzenos (CB) e *orto*-diclorobenzeno (*o*-DCB), que são solventes utilizados para preparar células orgânicas solares (OSCs), com solução método (Bi, *et. al.* 2021). Por outro lado, outros derivados foram sintetizados no intuito de melhorar suas propriedades

fotovoltaicas. Analisando as demais moléculas, derivadas do C_{60} , particularmente $PC_{60}BM$, sintetizado por Wudlet *al.* em 1995 apresenta melhor solubilidade, e $PC_{70}BM$, sintetizado por Jansen *et al.* (2003), também apresentou melhor solubilidade, tendo uma absorção de luz mais forte na região da luz visível, e por isso é amplamente mais utilizado como aceitador de elétrons. Nestas duas moléculas é interessante observar a presença do grupo carboxila de éster. Sendo este um grupo polar, as suas interações intermoleculares com os solventes organoclorados clorobenzeno (CB) e *orto*-diclorobenzeno (*o*-DCB), será feita via interações dipolo-dipolo (Fig. 15), além de serem mais polares, são interações mais fortes que as de Van der Waals, já apresentadas aqui para os compostos apolares.

Figura 15: Interação intermolecular do tipo Dipolo-Dipolo entre o solvente e a molécula aceitadora de elétrons.



Fonte: o autor

Das moléculas aceitadoras aqui apresentadas, derivadas do fulereno C_{60} , apenas ICBA não apresenta grupos polares em sua estrutura, porém por possuir C e H é classificada como um hidrocarboneto, o que sugere ser menos solúvel também em solventes polares. Outros solventes que são atualmente utilizados na fabricação de filmes e que apresentam bastante eficácia são: O clorofórmio (CF) e di-iodooctano (DIO). Entretanto, por se tratar de substâncias organo-halogenadas, são bastante tóxicas

por apresentarem propriedades carcinogênicas. Dessa forma seus usos passam a serem bastante limitados quando se trata de produção em escala industrial (Menezes, 2018). Sendo a principal vantagem de seu uso a maior solubilidade e, portanto, uma melhor mistura, tanto de doadores quanto de aceitadores de elétrons. A partir disso, surgiu então a necessidade de se utilizar solventes menos tóxicos, ecologicamente corretos, e que tenham eficácia comparável e até mesmo superior aos solventes organo-halogenados. Diversos estudos têm sido realizados no intuito de se obter uma melhor entre solvente e receptor de elétrons e mais ambientalmente correta entre solventes ecológicos e semicondutores orgânicos. Dessa forma pode-se destacar dois pontos: Modificação química das estruturas dos semicondutores e pesquisa direcionada a solventes mais ecológicos e que ainda não foram totalmente explorados.

A água é o solvente universal mais conhecido, sendo este suscetível de diluir compostos orgânicos por adição de grupos hidrofílicos (O-H, N-H, C=O, C-O, etc.) à cadeia principal do aceitador de elétrons. Desde que cadeias laterais (ramificações) não possam atrapalhar na morfologia e no transporte de carga do filme, diminuindo assim a eficiência dos dispositivos fotovoltaicos (Menezes, 2018). Um dos desafios tem sido o de obter nanopartículas que sejam capazes tanto de absorver a radiação incidente e ao mesmo tempo alcançar tanto a solubilidade em água, quanto uma melhor homogeneidade do sistema.

A miniemulsão tem sido uma alternativa para a síntese de nanopartículas semicondutoras (Landfester e colaboradores, 2006), uma parte aquosa contendo água e surfactante e a outra parte orgânica, contendo uma solução de polímero e solvente orgânico formando uma miniemulsão de polímeros conjugados. O surfactante possui uma parte hidrofóbica, (apolar) e uma parte hidrofílica (polar). A parte hidrofóbica é a que se liga ao polímero e a parte hidrofílica se liga à água, estando o polímero e a água em

proporções definidas, uma vez submetido ao ultrassom, formam-se nanopartículas de polímeros (fulerenos e derivados ou outras moléculas poliméricas) em escala nanométrica. Industrialmente isso ajuda a eliminar grandes quantidades de solventes orgânicos, antes utilizados. Isso tem gerado bastante interesse da comunidade científica, apesar ainda da baixa eficiência, quando comparado a utilização de solventes convencionais (Menezes, 2018). Entretanto, filmes de nanopartículas do tipo P(TBT-DPP):ICBA depositados sobre substratos flexíveis, seguindo a estrutura PEN/PEDOT:PSS/NPP(TBT-DPP):ICBA/C₆₀/Al, apresentaram maiores eficiências do que em filmes processados com clorofórmio (CHCl₃), alcançando 0,56% de eficiência de conversão. Adicionando 20% de etanol, a eficiência do dispositivo aumenta para 2,63% (Yamamoto, *et al.*, 2015), mostrando assim a possibilidade de aumento de eficiência de conversão com aplicação da nanoestruturação. Com métodos de miniemulsão já se chegou a eficiências máximas de 3,8%, com o polímero PBDTTPD e o fulereno PC₇₁BM depositada por centrifugação sob a estrutura ITO/ZnO/NPPBDTTPD:PC₇₁BM/MoO₃/Al (D'Olieslaeger, 2016).

Outros solventes menos prejudiciais que os organo-halogenados e que também já foram utilizados são: A combinação de THF (tetrahidrofurado) com IPA (isopropanol) para processar o doador de elétrons (PBQ-4F), utilizando o aceitador ITIC, o qual se obteve uma conversão máxima de eficiência de potência em células solares de 11,34% (Zheng, 2017). Outros solventes que também foram investigados estão na Tab. 1 abaixo e mostram a conversão de vários polímeros doadores com moléculas aceitadoras (derivados não-fulerênicos) realizados em solventes não halogenados (Menezes, 2018):


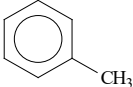
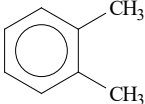
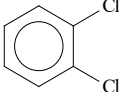
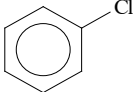
Tabela 1 - Células solares orgânicas baseadas em aceitadores não fulerênicos processadas com solventes orgânicos não-halogenados. (PBQ = *p*-Benzoquinona; ITCT = 3,9 - bis (2-metileno - (3-(1,1-dicianometileno) - indanona) - 5, 5, 11, 11 - tetraquis(4- hexilfenil) - ditieno[2,3-d:20 ,30 -d'] -s - indaceno[1,2-b:5,6-b'] ditiofeno); PTB7-Th = Poli ([2,6'- 4,8 - di (5-etilhexiltienil) benzo [1,2-b; 3,3-b] ditiofeno] {3- fluor - 2 [(2-etilhexil) carbonil] tieno [3,4-b] tiofenodiil}.

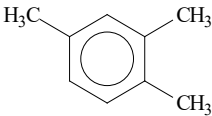
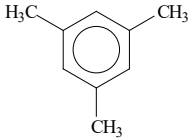
Doador de e ⁻	Aceitador de e ⁻	solvente	Eficiência (%)	Referência
PBQ-0F	ITIC	THF	2,02	(Zheng, Z.;2017)
PBQ-QF	ITIC	THF	3,97	(Zheng, Z.;2017)
PBQ-4F	ITIC	THF	5,11	(Zheng, Z.;2017)
PBQ-0F	ITIC	THF+IPA	6,68	(Zheng, Z.;2017)
PBQ-QF	ITIC	THF+IPA	8,90	(Zheng, Z.;2017)
PBQ-4F	ITIC	THF+IPA	11,34	(Zheng, Z.;2017)
PBQ-4F	ITIC	THF+IPA	11,07	(Zheng, Z.;2017)
PBDB-T	IT-M	XILENO	8,32	(Zhao, W.; 2017)
PBDB-T	IT-M	XILENO+DPE	9,39	(Zhao, W.; 2017)
PBDB-T	IT-M	XILENO+NMP	10,5	(Zhao, W.; 2017)
PBDB-T	IT-M	XILENO+PN	11,3	(Zhao, W.; 2017)
PBDB-TS	ITIC	XILENO	7,9	(Zhao, W.; 2017)
PBDB-TS	ITIC	XILENO+DIO	9,39	(Zhao, W.; 2017)
PBDB-TS	ITIC	XILENO+DIO	9,06	(Zhao, W.; 2017)
PBDB-TS	ITIC	XILENO+NMP	8,38	(Zhao, W.; 2017)
PBDB-TS	ITIC	XILENO+NMP	9,85	(Zhao, W.; 2017)
PffBT4T-2DT	EH-IDTBR	TMB	10,4	(Zhao, W.; 2017)
PffBT4T-2DT	EH-IDTBR	MESITILENO	11,1	(Zhao, W.; 2017)

PffBT4T-2DT	EH-IDTBR	XILENO	10,5	(Zhao, W.; 2017)
PTB7-TH	ITIC	TOLUENO	6,38	(Park, G.; 2017)
PTB7-TH	ITIC	TOLUENO-DPE	7,09	(Park, G.; 2017)
3MT-Th	ITIC	TOLUENO	8,09	(Park, G.; 2017)
3MT-Th	ITIC	TOLUENO-DPE	9,73	(Park, G.; 2017)
3MT-Th	ITIC	MESITILENO	3,65	(Park, G.; 2017)
3MT-Th	ITIC	XILENO+DPE	7,13	(Park, G.; 2017)
PTB7-Th	Tpdi-hEx	2ME-THF	4,8	(Park, G.; 2017)
PTB7-Th	Tpdi-hEx	XILENO	4,8	(Park, G.; 2017)
PTB7-Th	Tpdi-hEx	TMB	4,6	(Park, G.; 2017)

A Tab. 2 mostra os principais solventes utilizados em células solares (organo-halogenados e não organo-halogenados) e o grau de periculosidade para cada um (Menezes, 2018). A partir de sua análise é possível verificar que, mesmo não sendo solventes organo-halogenados, verificam-se os danos nocivos ao meio ambiente e ao homem (Tab. 2). Dessa forma, é necessário um estudo cada vez mais direcionado à utilização de solventes ecologicamente corretos para o processamento em células orgânicas solares.

Tabela 2 - Relação entre os solventes utilizados para processar a camada ativa das células solares orgânicas com sua classificação de segurança.

NOME	FÓRMULA	ESTRUTURA	CLASSIFICAÇÃO
Tetra-Hidro-furano (THF)	C_4H_8O		Inflamável, perigoso se ingerido e toxicidade aguda em órgãos, efeitos narcóticos toxicidade reprodutiva, risco se aspirado.
Tolueno	$C_6H_5CH_3$		Inflamável, perigoso se ingerido e toxicidade aguda em órgãos, efeitos narcóticos toxicidade reprodutiva, risco se aspirado.
Xileno	$C_6H_4(CH_3)_2$		Inflamável, perigoso se ingerido e toxicidade aguda em órgãos, efeitos narcóticos toxicidade reprodutiva, risco se aspirado.
<i>o</i> -Dicloroben-zeno (<i>o</i> -DCB)	$C_6H_4Cl_2$		Inflamável, perigoso se ingerido e toxicidade aguda em órgãos, efeitos narcóticos toxicidade reprodutiva, risco se aspirado.
Clorobenzeno	C_6H_5Cl		Inflamável, Corrosivo, toxicidade aguda(pele), tóxico para a vida aquática (efeitos duradouros)

Trimetil-benzeno (TMB)	C_9H_{12}		Inflamável, perigoso se ingerido e toxicidade aguda em órgãos, efeitos narcóticos toxicidade reprodutiva, risco se aspirado; tóxico para a vida aquática (efeitos duradouros).
Mesitileno	C_9H_{12}		Inflamável, perigoso se ingerido e toxicidade aguda em órgãos, efeitos narcóticos toxicidade reprodutiva, risco se aspirado.
Clorofórmio	$CHCl_3$	$CHCl_3$	Corrosivo, perigoso se ingerido e toxicidade aguda em órgãos, efeitos narcóticos toxicidade reprodutiva, risco se aspirado.

Do levantamento bibliográfico realizado, pôde-se perceber que quando na presença de solventes processados com os aceitadores de elétrons em células orgânicas solares (OSCs), desde que formando um sistema homogêneo tanto entre os aceitadores, quanto com os doadores de elétrons, a eficiência nos dispositivos fotovoltaicos é aumentada. O que tem se observado é que solventes utilizados, sendo organo-halogenados apresentam grande eficiência de conversão de energia (ECE) dos dispositivos fotovoltaicos. Entretanto, a limitação de seu uso está baseada no grau de toxicidade que estes possuem.

Verificou-se ainda que polarizabilidade (interações do tipo Dipolo-Dipolo) ocasionada pelo solvente, no caso mencionado, com os derivados fullerênicos, contendo grupos carboxilas ($ROC=O$) é um fator importante para o transporte dos pares: elétrons e os respectivos “buracos” deixados por estes (éxcitons),

devido a melhor separação de carga. Esse resultado observado é complementado pelo melhor rendimento na eficiência do sistema de conversão de energia. Isso implica também numa facilitação do movimento via nuvem π por parte dos aceitadores de elétrons.

Em relação à análise dos solventes, nesse ponto particular pesquisado, verificou-se que embora, diversos outros solventes não halogenados, tenham sido utilizados, tais como: xileno, tolueno, trimetilbenzeno, mesitileno e alguns outros derivados do THF (tetrahidrofurano), vale ressaltar que, mesmo assim ainda, são tóxicos. Dessa forma também prejudiciais à saúde, embora menos tóxicos que os organo-halogenados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do estudo realizado, observou-se o direcionamento das pesquisas voltadas para solventes e aceitadores de elétrons em células orgânicas solares, mais eficientes em conversão de energia com sistemas homogêneos. Muitas vezes há uma limitação entre eficácia do método realizado, em virtude da toxicidade do solvente empregado no processo e da solubilidade do aceitador de elétrons. Uma das alternativas apresentada para amenizar o problema foi através da utilização de solventes não-tóxicos, porém de baixa solubilidade com os compostos orgânicos trabalhados. A miniemulsão foi uma dessas alternativas, o qual fez uso de nanopartículas semicondutoras, na qual há a presença de componentes com uma parte aquosa, contendo água e surfactante e a outra parte orgânica, contendo uma solução de polímero e o solvente orgânico, formando uma miniemulsão de polímeros conjugados. O surfactante possui uma parte hidrofóbica, (apolar) e uma parte hidrofílica (polar). A parte hidrofóbica é a que se liga ao polímero e a parte hidrofílica se liga à água. Portanto, a utilização de um solvente anfifílico (moléculas que apresentam a característica de possuírem uma região hidrofílica, solúvel em

meio aquoso, e uma região hidrofóbica, insolúvel em água, porém solúvel em lipídios e outros compostos orgânicos), que possa dissolver tanto o aceitador de elétrons (composto orgânico, em geral apolar), quanto promover a “retirada” do elétron do doador, pode ser uma boa alternativa para um melhoramento da conversão de energia em células orgânicas do sistema fotovoltaico.

Uma alternativa utilizada foi através da mistura de solventes menos tóxicos que os organo-halogenados, o que implicou em diferentes resultados. Isso se mostrou bastante promissor para o campo da pesquisa em desenvolvimento de novos aceitadores de elétrons e sua relação em termos de homogeneidade (solubilidade) com o solvente. Outro fator que deve ser considerado, porém pouco explorado, é a estereoquímica do aceitador e suas interações tanto com o solvente, quanto com o doador e a sua disponibilidade doadora de elétrons em células orgânicas solares. Fator importante para o uma melhor eficácia na conversão de energia do sistema fotovoltaico envolvido como um todo.

As perspectivas futuras são a de haver uma maior acessibilidade aos sistemas fotovoltaicos e como consequência um crescimento significativo nas instalações destes sistemas e maior geração de energia.

REFERÊNCIAS

Araújo, F. L. – Estudo das propriedades de transporte e recombinação de cargas em células solares orgânicas: efeitos de aditivo e de degradação/Francineide Lopes de Araújo – São Carlos, 2018, 131p.

Bi, P.; Zhang, S.; Wang, J.; Ren, J.; Hou, J. Progress in Organic Solar Cells: Materials, Physics and Device Engineering. Chin. J. Chem. 2021, 39, p.2607-2625.

Coutinho, Douglas José – Estudos sobre fotogeração, efeitos de interfaces e de transporte de portadores em células solares orgânicas/Douglas José Coutinho; orientador Roberto Mendonça Faria – São Carlos, 2015. 127p.

de Freitas, J. N. et al., Investigation of new PPV-polymeric materials containing fluorene and thiophene units and application in solar cells. *Synthetic Metals*, 2010, 160, 1654-1661p.

D’Olieslaeger, L. Pirotte, I. Cardinaletti, D’Haen, J.; Manca, J.; Vanderzande, D.; Maes, W.; Ethirajan, A., Eco-friendly fabrication of PBDTTPD:PC₇₁BM solar cells reaching a PCE of 3,8% using water-based nanoparticle dispersions. *Org. Electron.* 42 (2016), 42-46.

El Char, L.; Lamont, L. A.; El Zein, N. Review of photovoltaic Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 2165-2175, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.004>.

Hummelen, J. C.; Knight, B. W.; LePeq, F.; Wudl, F.; Yao, J.; Wilkins, C. L. Preparation and Characterization of Fulleroid and Methanofullerene Derivatives. *J. Org. Chem.* 1995, 60, 532-538.

Landfester, K.; Synthesis of Colloidal Particles in Miniemulsions. *Annu. Ver.Mater. Res.* 36 (2006), 231-279.

Machado, C. T.; Miranda, F. S. Energia Solar Fotovoltáica: Uma Breve Revisão. *Revista Virtual de Química*, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150008>.

Menezes, L. C. W. – Semicondutores orgânicos processados por meio de solventes ecológicos e halogenados com aplicação fotovoltaica/Luana Cristina Wouk de Menezes. - Curitiba, 2018.173p.: Il. color. p.72-81.

Monturil de M. F. H.; Da Silva, O. A. V. O.; Moraes, A. M.; Barbosa, F. R.; Energia solar fotovoltaica: Fundamentos para análise de viabilidade técnica econômica/ Fabrício Higo Monturil de Moraes...[et al.]. – Teresina-PI: EdUESPI, 2021.

MORRISON, R. T.; BOYD, R. N. Química Orgânica. 13 ed. Lisboa: Fundação Calouste Goulbenkian, 1996.

Park, G. E.; Choi, S.; Park, S. Y.; Lee, D. H.; Cho, M. J.; Choi, D. H., Eco-Friendly Solvent-Processed Fullerene-Free Polymer Solar Cells with over 9,7% Efficiency and Long-Term Performance Stability. *Adv. Energy Mater.*, 7, (2017), 1-10.

Razoyov, T. M.; Ferekides, C. S.; More, D.; Stefanakos, E.; Ullal, H. S.; Upadhyaya, H. M. Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects. *Solar Energy*, v. 85, p.1580-1608, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.002>. REN21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables 2017 Global Status Report, Paris, 2021. 371 p. ISBN: 978-3-948393-03-8.

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, B. C. Química Orgânica, 8 ed., LTC, Rio de Janeiro, 2005 v.1, 2006. v.2.

Vallêra, A. M.; Brito, M. C. Meio século de história fotovoltaica. *Revista Gazeta da Física*, v. 29, p. 10-15, 2006.

Varandas, C., As Energias do Presente e do Futuro, *Gazeta de Física – Sociedade Portuguesa de Física*, v. 29, fasc. 1-2, p.92, 2006.

VOLLHARDT, K. P. C.; SCHORE, N. E. Química orgânica - estrutura e função, 4. ed, Fundação Bookman, Porto Alegre, 2004.

Wienk, M. M.; Kroon, J. M.; Verhees, W. J. H.; Knol, J.; Hummelen, J. C.; van Hal, P. A.; Janssen, R. A. J. Efficient methano [70] fullerene/MDMO-PPV bulk heterojunction photovoltaic cells. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2003, 115, 3493-3497.

Yamamoto, N. A. D.; Payne, M. E.; Koehler, M.; Facchetti, A.; Roman, L. S.; Arias, A. C., Charge transport model for photovoltaic devices based on printed polymer: Fullerene nanoparticles. *Sol. Energy Mater. Cells*, 141 (2015), 171-177.

Zhao, W.; Ye, L.; Li, S.; Liu, X.; Zhang, S.; Zhang, Y.; Ghasemi, M.; He, C.; Ade, H.; Hou, J., Environmentally-friendly solvent processed fullerene-free organic solar cells enabled by screening halogen-free solvent additives. *Science China Materials*. 60, 8 (2017), 697-706.

Zheng, Z.; Awartani, O. M.; Gautam, B.; Liu, D.; Qin, Y.; Li, W.; Bataller, A.; Gundogdu, K.; Ade, H.; Hou, J., Efficient Charge Transfer and Fine-Tuned Energy Level Alignment in a THF-Processed Fullerene-Free Organic Solar Cell with 11,3% Efficiency. *Adv. Mater.* 29 (2017), 3-8.

<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20de%20Consolida%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Resultados.pdf>

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES E SUA APLICABILIDADE NO BRASIL

*Andreia Leal da Costa Magalhães
Bartolomeu Ferreira dos Santos Junior*

INTRODUÇÃO

A crise energética é um problema recorrente e bastante discutido nos últimos anos, principalmente em relação à disponibilidade dos recursos naturais e, conseqüentemente, ao valor da tarifa de energia. Segundo Siqueira, Sousa e Less (2022), essa crise é um dos grandes desafios da atualidade, apesar de não ser um tema recente. Eles citam o constante crescimento da população e dos bens de consumo, que torna fundamental diversificar a matriz energética, especialmente com o uso de energias renováveis, para diminuir os impactos ambientais causados pelos combustíveis fósseis.

Hoje, as usinas hidrelétricas são a principal fonte de geração do Brasil. Porém, as variações climáticas afetam essa geração de energia em períodos de seca, o que resulta na necessidade de acionar outras fontes de energia, como as termelétricas, tornando a conta de energia mais cara (RODRIGUES et al., 2020). De acordo

com a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2022), no relatório anual do Balanço Energético Nacional (BEN), houve uma queda na oferta de energia hidráulica de 2020 para 2021, sendo necessário um maior uso das termelétricas. Além disso, as usinas hidrelétricas também causam impactos ambientais em sua construção, pois são usinas de grande porte e afetam a vida terrestre e aquática locais na construção das barragens. Assim, o incremento de novas fontes de energia renovável na matriz energética do país é uma estratégia importante.

Muitos são os impactos ambientais e as variações climáticas causados por fontes de energia que emitem gases poluentes, sendo necessário assim a exigência de ações para um melhor aproveitamento de fontes de energia limpa, pois as mudanças climáticas colocam em risco não só a disponibilidade de recursos para a geração de energia, mas também a sobrevivência em algumas regiões do planeta (BORBA E NOVAK, 2018).

Uma das fontes de energia alternativa que mais crescem no país é a solar fotovoltaica. Esse crescimento é dado principalmente através de incentivos e programas como o ProGD (Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica), criado em 2015 pelo Ministério de Minas e Energia para incentivar a geração de energia renovável pelos próprios consumidores, dando destaque para a energia solar fotovoltaica. De acordo com EPE (2022), a capacidade instalada de fontes de energia solar teve um aumento de 40,9% de 2020 para 2021, chegando a 2,5% da matriz elétrica nacional em 2021.

Justificativa e objeto de estudo

De acordo com Andrade et al. (2020), o aumento na participação do uso das fontes renováveis de energia na matriz energética vem acontecendo de forma natural, e a fonte de energia solar fotovoltaica é uma das fontes que torna essa mudança

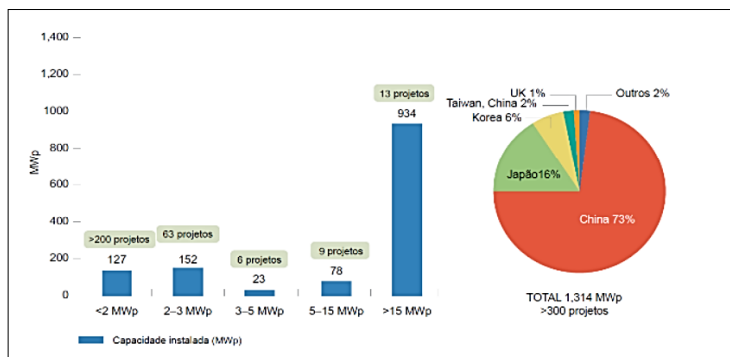
possível. No entanto, como qualquer outra fonte de energia, é necessário analisar seus impactos negativos, como a necessidade de ocupar grandes espaços para a implementação de usinas solares fotovoltaicas, e a distância dessas usinas para os centros urbanos (ANDRADE et al., 2020). Como alternativa, existe a possibilidade de instalar usinas fotovoltaicas flutuantes, pois elas ocupam uma área sem uso.

Assim, um sistema solar fotovoltaico flutuante é uma grande oportunidade de geração de energia para países com restrições de território. Segundo Rebelo (2021), as usinas fotovoltaicas flutuantes são vantajosas em países onde o seu solo é concorrido para diversas utilizações, como agricultura e ocupação habitacional, este último caso representado por países com grande densidade populacional. Ele cita a China como exemplo, que é um dos países com maior densidade populacional do mundo e hoje já possui centrais fotovoltaicas flutuantes.

De acordo com Silva (2021), o primeiro projeto de capacidade considerável foi instalado nos Estados Unidos, numa vinícola, em 2008, situado sobre uma barragem, para que a usina (de 994 módulos e 175kW) abastecesse toda a vinícola sem ocupar um espaço de terra que poderia ser usado para outros fins, como cultivo. Segundo Costa (2020), o Japão inaugurou a primeira usina fotovoltaica flutuante de grande dimensão em 2013, com 1,18 MWp de potência instalada. Ela mostra que em cinco anos a potência instalada no mundo passou de 11 MW para 1314 MW.

Hoje, a maior usina desse tipo encontra-se instalada na China, com capacidade de geração de 40 MWp (Silva *et. al.*, 2022). A China, conforme já mencionado anteriormente, possui diversas restrições territoriais. No ano de 2018, ela já possuía 73% das usinas fotovoltaicas flutuantes do mundo, conforme apresentado na Figura 1. Outras regiões do mundo que já investem bem nessa tecnologia são o Japão, a Coreia e o Reino Unido.

Figura 1 – Distribuição de usinas fotovoltaicas flutuantes no mundo, em dezembro de 2018.



Fonte: SILVA, 2021.

O Brasil não apresenta tais restrições, devido à sua grande disponibilidade de território no país. Ainda assim, outros benefícios são oportunos para o país, como a redução na evaporação dos lagos e reservatórios onde são instaladas as usinas fotovoltaicas flutuantes. De acordo com Lopes (2020), a evaporação em reservatórios é diretamente proporcional à incidência de radiação solar, à temperatura e à velocidade do vento, e inversamente proporcional à umidade relativa do ar, características encontradas no semiárido brasileiro, região que teve balanço hídrico negativo nos últimos anos, afetando o volume de barragens e açudes da região.

Além disso, segundo Siqueira, Sousa e Less (2022), as usinas fotovoltaicas flutuantes aproveitam também a complementariedade das fontes hidráulica e fotovoltaica, já que em períodos de seca, onde não há muitas nuvens, é quando há maior produção de energia fotovoltaica. Eles apontam também que as usinas fotovoltaicas flutuantes ainda são uma fonte de geração de energia recente e é necessário estudar os desafios e as vantagens da implementação desse tipo de tecnologia.

A instalação de usinas fotovoltaicas flutuantes é mais uma alternativa do uso da energia solar, e os recentes resultados dos projetos-pilotos nacionais dessa tecnologia em usinas hidrelétricas serão importantes para analisar o potencial dela, que ainda é pouco estudado (RUSCHEL et. al, 2020).

Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo expor os benefícios e entraves referente à instalação de usinas fotovoltaicas sobre corpos d'água, através de uma revisão bibliográfica sobre sistemas flutuantes implantados no Brasil e sobre o seu potencial.

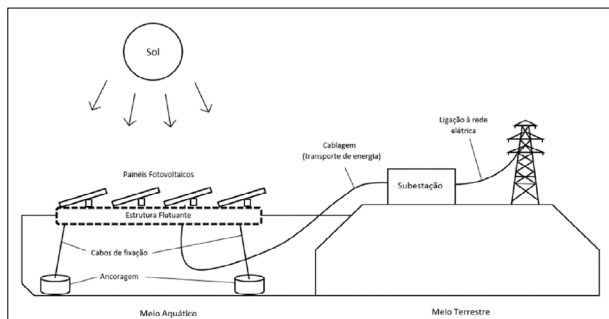
METODOLOGIA

O trabalho será realizado através de uma pesquisa na literatura técnica e científica acerca de usinas fotovoltaicas flutuantes, estudando sua forma de funcionamento, bem como os equipamentos e estruturas utilizados. Será feito um estudo a partir de trabalhos publicados sobre usinas fotovoltaicas flutuantes implementadas no Brasil e no mundo para verificar o potencial brasileiro deste tipo de usina e as maiores dificuldades encontradas ao implementá-las.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O sistema fotovoltaico flutuante difere do convencional principalmente pela estrutura de sustentação dos módulos fotovoltaicos, que deverá ter uma estrutura de flutuação e uma de ancoragem. O sistema é, então, composto por: módulos fotovoltaicos, estrutura de flutuação, estrutura de ancoragem e fixação, cabos elétricos e inversor, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Partes de um sistema fotovoltaico flutuante.



Fonte: COSTA, 2020.

De acordo com Ruschel et al. (2020), a plataforma flutuante deverá dar estabilidade e fluidez aos módulos fotovoltaicos, assim como deverá conter uma passarela para manutenção. Eles apontam também que o sistema de ancoragem deve ser capaz de resistir aos movimentos causados pelo vento e pela variação do nível da água. O sistema de ancoragem é fundamental para manter os módulos na posição correta, de forma a receber a maior incidência possível de radiação direta (COSTA, 2020).

Borba e Novak (2018) destacam os estudos que devem ser realizados para determinar a localização e outras características do sistema de ancoragem: topografia do fundo do lago ou reservatório, correnteza, velocidade do vento, formato das margens, variação do nível da água e alturas das ondas.

As outras partes do sistema são os mesmos equipamentos e componentes usados nas usinas fotovoltaicas convencionais, devendo os cabos elétricos possuírem uma isolamento boa o suficiente para garantirem a boa funcionalidade e segurança quando submersos ou em contato com a água.

Dos benefícios a serem alcançados com esse novo sistema pode-se citar ganhos de eficiência, devido à redução da temperatura dos módulos por estarem sobre a água. As perdas

por sombreamento e sujidade (em relação à poeira) também diminuem (REBELO, 2021). Há também a diminuição no crescimento das algas, devido à menor incidência de luz; e a não necessidade de preparação do solo, como terraplanagem (LOPES, 2020). E, conforme já mencionado, há a diminuição na taxa de evaporação da água, disponibilizando uma maior quantidade de recurso aquático para geração das hidrelétricas, assim como no abastecimento das cidades, dentre outras aplicações. (STRANGUETO, 2016).

Em relação às dificuldades encontradas para implantar esses sistemas, Borba e Novak (2018) destacam como a maior o projeto e construção da estrutura flutuante e de ancoragem, pois ela deve ser resistente, de forma a suportar as mais diversas condições ambientais, deixando os módulos fotovoltaicos na posição ideal para geração. Eles destacam também o alto custo do investimento, assim como o custo de operação e manutenção, devido às estruturas estarem submersas, e problemas com a vida útil dos equipamentos. O impacto da umidade nos módulos fotovoltaicos deve ser considerado na hora de escolher os equipamentos a serem utilizados na usina flutuante.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Borba e Novak (2018) fizeram um estudo sobre os aspectos técnicos da tecnologia. Eles apontam que a umidade é um fator a ser considerado fortemente, pois ela poderá entrar pela parte inferior no módulo até atingir a célula fotovoltaica, provocando problemas como bolhas na parte interna dos módulos, correntes de fuga e corrosão nas suas conexões. Eles ressaltam que o aumento dessa corrente de fuga pode aumentar os riscos de degradação induzida por potencial, fenômeno conhecido como PID (*Potencial Induced Degradation*). Por seus estudos, pode-se concluir que apesar das usinas fotovoltaicas flutuantes trazerem

grandes benefícios, é de extrema importância estudar os efeitos da presença da umidade nos painéis, para que se possa encontrar formas de aplicar melhoras nos módulos utilizados nessas usinas.

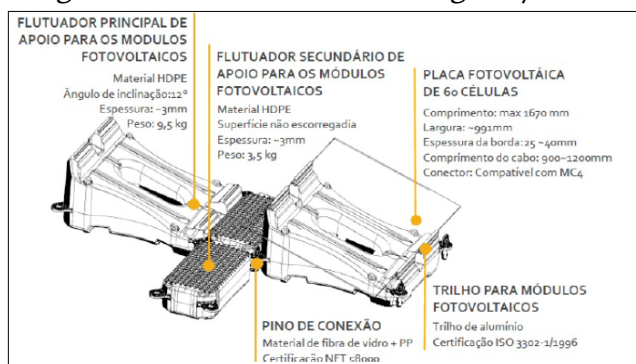
Já Ruschel *et. al* (2020) focam nas questões ligadas às tratativas legais a serem realizadas para o uso dos reservatórios, podendo ser necessário algum licenciamento ambiental ou comprovação de direito de uso do local a ser instalada a usina. Eles comentam a possibilidade de ser necessária uma autorização da Agência Nacional de Águas (ANA), da Marinha do Brasil ou da Capitania dos Portos. Também são apresentados os aspectos técnicos relacionados à nova tecnologia, concluindo que o custo dessa geração não se mostra competitivo no momento quando comparada às usinas fotovoltaicas convencionais. Segundo eles, para que essas usinas ganhem espaço no mercado brasileiro, deve-se eliminar as barreiras legais relacionadas ao licenciamento ambiental e ao uso da área.

Em relação a sistemas flutuantes já implantados no Brasil, foi realizado um estudo por pesquisadores das Universidades Federais de Pernambuco e Amazonas para verificar a complementariedade da geração solar fotovoltaica flutuante com a geração hidrelétrica, analisando-se a usina instalada na hidrelétrica de Sobradinho (BA). Em seu reservatório, que é o maior lago artificial do mundo, com 360 km de extensão e 4214 m² de superfície, foi instalada uma usina solar flutuante de 1MW na sua fase inicial (RODRIGUES *et. al*, 2020). Em relação à escolha do local da usina, foram realizados estudos de batimetria que indicaram uma área onde a flutuabilidade da plataforma fosse garantida até com o menor nível do reservatório. Inicialmente, considerava-se colocar a usina no local mais próximo possível da subestação, mas o local não atendia a níveis satisfatórios de profundidade.

Na escolha da estrutura flutuante, optou-se pelo uso da tecnologia Hydrelio, da empresa francesa Ciel et Terre, feitos

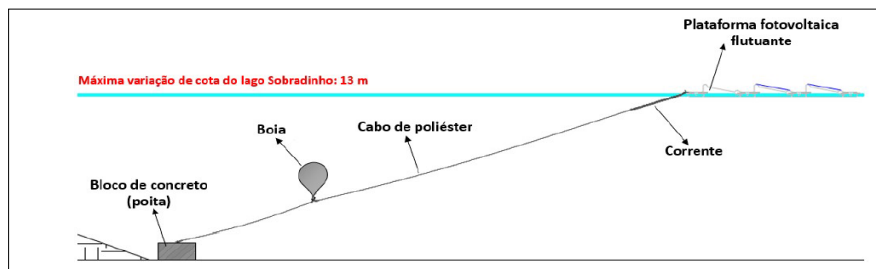
de PEAD (polietileno de alta densidade). A estrutura consiste em vários flutuadores unidos entre si, formando uma grande plataforma flutuante, onde os módulos fotovoltaicos são fixados em sua superfície (RODRIGUES *et. al*, 2020). Segundo os pesquisadores, as estruturas foram produzidas no Brasil, o que reduziu os custos e contribuiu para o desenvolvimento da tecnologia no país. Já para definir a estrutura de ancoragem, foram analisadas outras características físicas e químicas do local. Devido ao alto pH do lago (o que provoca corrosão em metais) e à necessidade de diminuir os pontos de fixação, reduzindo assim os custos de instalação e manutenção, o sistema de ancoragem foi composto por blocos de concreto armado, cabos de amarração em poliéster e boias em PVC. Segundo os pesquisadores, as boias servem para que o cabo de ancoragem fique sempre tensionado. Os dois sistemas estão apresentados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Flutuador da tecnologia Hydrelío.



Fonte: Manual do Usuário – Tecnologia Hydrelío (2017).

Figura 4 – Sistema de ancoragem com blocos de concreto.



Fonte: RODRIGUES *et. al*, 2020.

Nesse estudo, é possível ver as maiores dificuldades técnicas encontradas, como a escolha do local da usina, que acabou ficando distante da subestação devido à necessidade de se encontrar em uma área com profundidade suficiente para suportar as mudanças de níveis do reservatório sem danificar a estrutura. Outra dificuldade foi a escolha do material de ancoragem, por não ser possível usar estacas de metal pelo risco de corrosão devido às características químicas do lago. Um ponto positivo a ser visto foi a fabricação das estruturas no próprio país, reduzindo os custos com importação. Por se tratar de uma tecnologia nova, esse custo pode ser ainda mais reduzido com nossas pesquisas e estudos acerca dos melhores materiais para essa aplicação, o que será possível à medida que essa tecnologia for mais difundida no Brasil.

Outro estudo foi realizado em Aimorés-MG, em uma usina fotovoltaica flutuante de 96,2 kW. Essa usina faz parte de um projeto de pesquisa e desenvolvimento que estuda usinas híbridas com energia solar. O projeto tem como objetivo aumentar a capacidade das usinas já existentes e compartilhar áreas ociosas e já licenciadas (ANDRADE *et. al*, 2020). Os módulos foram instalados em duas estruturas: uma nacional (desenvolvida na pesquisa, sem fins comerciais) e na estrutura Hydrelio. Foram instalados 80 módulos (26 kW) na estrutura nacional para análise.

Segundo Andrade *et. al* (2020), os flutuadores são compostos por poliestireno expandido (EPS), polietileno de alta densidade (PEAD), selante de poliuretano (PU) e miscelâneas de aço inoxidável. Já o suporte dos módulos foi feito com alumínio anodizado, para que não ocorresse corrosão. A montagem das estruturas foi realizada no local. O local escolhido foi um dique, por ser um local com pouca interferência do vento. A estrutura foi deixada na água por dois dias para verificar o seu comportamento. Pode-se observar a estrutura montada com os módulos fotovoltaicos na Figura 5.

Figura 5 – Montagem final de um bloco de estrutura com 20 módulos.



Fonte: ANDRADE *et. al*, 2020.

O primeiro problema encontrado foi em relação à fixação dos módulos, o que foi resolvido com o uso de contra porcas para uma maior fixação. Outro problema visto foi em relação ao alinhamento entre os blocos da estrutura, onde o uso de estruturas mais rígidas resolveu essa falta de alinhamento. Por último, verificou-se que os flutuadores estavam ficando curvos, formando um arco, o que foi corrigido com o uso de flutuadores extras, para garantir um empuxo maior nas extremidades dos flutuadores já existentes. Andrade *et. al* (2020) concluíram que a estrutura nacional montada é confiável e segura para a finalidade e destacam que o trabalho se limitou às etapas construtivas e de validação da estrutura desenvolvida.

Nesse trabalho, podemos ver as etapas envolvidas durante a construção de uma tecnologia nova, onde pode-se ver uma ideia inicial, sua aplicação e as correções necessárias após a etapa de testes e aplicações. O trabalho não tratou de análises econômicas, impossibilitando discussões acerca do custo na construção da estrutura.

Potencial

Um estudo foi realizado por Silva *et. al* (2022) para levantar o potencial de energia solar utilizando os reservatórios das usinas hidrelétricas de Sobradinho e de Tucuruí, maiores reservatórios do país. Aproveitando toda a área das represas, eles estimam 164 GW de geração contínua. Apesar disso, eles apontam a necessidade de estudos em relação aos impactos ambientais causados pelos sistemas, como o impacto que a sombra dos painéis pode provocar nas propriedades físico-químicas da água, assim como os efeitos que a redução da evaporação da água afetaria na umidade atmosférica local. Aqui pode-se ver a grandiosidade do potencial brasileiro na produção de energia solar com usinas flutuantes, ao mesmo tempo em que se pode notar a falta de estudos e análises das consequências que a tecnologia pode trazer.

O potencial de evaporação evitada quanto à geração elétrica obtida com a instalação de usinas flutuantes em açudes do semiárido brasileiro foi avaliado por Lopes (2020) em sua tese de doutorado. O estudo foi realizado considerando a bacia Apodi-Mossoró (RN) e três cenários de cobertura dos açudes são analisados: com a área ocupada pelo volume morto do açude, com 50% da área total ocupada e com 70% da área total. Nesses cenários, ela estima a geração anual de 2,3 TWh, 8,6 TWh e 12 TWh, respectivamente. Já em relação ao volume de área evaporada evitado é de 20,6 Mm³, 83,3 Mm³ e 124,3 Mm³, respectivamente. Lopes (2020) aponta que a implementação desse tipo de sistema

nessa região do semiárido brasileiro resultaria em grandes reduções de custos com a criação de poços ou caminhões-pipa para atendê-la. A autora afirma que a redução da demanda emergencial de caminhões-pipa na região pode reduzir as despesas anuais em até 15,3%.

Já Silva (2021), propõe uma finalidade diferente para as usinas fotovoltaicas flutuantes. Ele aponta que a presença de grandes quantidades de macrófitas em represas de usinas hidrelétricas atrapalha a geração de energia elétrica e interfere em algum outro possível uso para a água. O autor propõe que em vez de descartar as plantas após sua retirada, como é feito hoje, elas sejam aproveitadas para geração de biogás, que posteriormente será convertido em energia elétrica. Segundo Silva (2021), a usina solar flutuante terá como uma das funções a alimentação do sistema que irá realizar o manejo das macrófitas. Além disso, o sistema trabalhará de forma paralela à geração de energia através do biogás. Assim, as duas gerações funcionarão como um sistema de geração híbrido solar-biogás. Foi realizada uma análise de custos e o autor conclui que o sistema é viável tanto técnico quanto economicamente.

Com esses estudos, já pode-se ver outras finalidades das usinas fotovoltaicas flutuantes além da sua principal, que é a geração de energia, como a redução da evaporação de bacias hidrográficas, principalmente em regiões onde a escassez de água é um problema; e seu uso para alimentação de outros sistemas.

Os resultados e discussões apresentados neste tópico encontram-se resumidos no Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo dos trabalhos estudados e seus resultados.

TRABALHO	AUTOR/ ANO	OBJETIVO	RESULTADOS E CONCLUSÃO
Sistemas fotovoltaicos flutuantes: aspectos positivos e desafios	Borba e Novak (2020)	Apresentar os aspectos positivos e os maiores desafios que os sistemas fotovoltaicos flutuantes podem enfrentar.	Embora o sistema flutuante apresente muitos benefícios, é importante lembrar que eles estão sujeitos aos eventos da natureza. É imprescindível estudar melhorias para prevenir essas desvantagens, como a presença de umidade no local.
Aspectos tecnológicos e socioambientais dos sistemas fotovoltaicos flutuantes	Ruschel <i>et. al</i> (2020)	Discutir as principais vantagens e desafios na instalação de sistemas fotovoltaicos flutuantes.	Espera-se ganhos de eficiência nos sistemas flutuantes, devido à diminuição da temperatura dos módulos. Já o seu custo não parece competitivo no momento. Para que essas usinas ganhem espaço no mercado brasileiro, deve-se eliminar as barreiras legais para sua implementação.
Plataforma fotovoltaica flutuante de Sobradinho (BA) – Desafios e estratégias de implantação	Rodrigues <i>et. al</i> (2020)	Verificar a complementariedade da geração solar fotovoltaica flutuante com a geração hidrelétrica, analisando a usina instalada na hidrelétrica de Sobradinho (BA).	Alguns desafios encontrados foram a escolha de um local apropriado para o sistema de flutuação e ancoragem e a escolha de um material de ancoragem que suportasse as características químicas do lago. Um ponto positivo foi a fabricação das estruturas no Brasil, reduzindo custos com importação e difundindo a tecnologia no país.

Etapas construtivas de uma estrutura fotovoltaica flutuante desenvolvida no Brasil	Andrade <i>et. al</i> (2020)	Demonstrar as etapas construtivas de uma usina fotovoltaica flutuante de 96,2 kW em Aimorés-MG, montada sobre uma estrutura nacional, parte de projeto de P&D.	Algumas dificuldades encontradas foram em relação às fixações dos módulos e à rigidez da estrutura de sustentação dos flutuadores. Após as correções, a estrutura nacional montada se mostrou confiável e segura.
Energia solar fotovoltaica: estudo da diversificação da matriz energética brasileira com a inserção de usinas fotovoltaicas na superfície das represas das hidrelétricas	Silva <i>et. al</i> (2020)	Verificar o custo e a capacidade de geração elétrica com o uso das áreas de represas em usinas hidrelétricas para implantação de usinas solares fotovoltaicas, utilizando as usinas de Sobradinho e Tucuruí como referência de áreas.	É apontada a exigência de suporte de empresas de alta capacidade técnica, pois deve ser considerada a logística aquática. Deve-se estudar melhor os impactos ambientais causados pela implementação desses sistemas. Avalia-se um grande potencial brasileiro na geração de energia solar com usinas flutuantes.
Usinas fotovoltaicas como alternativa para a geração de energia e redução da evaporação em açudes do semiárido brasileiro.	Lopes (2020)	Verificar a viabilidade técnica e econômica de usinas fotovoltaicas flutuantes para geração de energia e redução da evaporação em açudes do semiárido, através de estudo de caso na bacia do Apodi-Mossoró, no Rio Grande do Norte.	A implementação de usinas fotovoltaicas flutuantes na região do semiárido brasileiro resultaria em grandes reduções de custos com criação de poços ou caminhões-pipa para abastecimento. A redução na demanda emergencial de caminhões-pipa na região pode reduzir as despesas anuais em até 15,3%.

<p>Sistema fotovoltaico flutuante integrado ao manejo de macrófitas aquáticas para produção de biogás em reservatórios de usinas hidrelétricas.</p>	<p>Silva (2021)</p>	<p>Analisar a possibilidade de utilizar sistemas fotovoltaicos flutuantes de forma a aproveitar a área alagada de reservatórios de usinas hidrelétricas para a produção de energia e reduzir os custos destinados ao manejo de macrófitas nessas represas.</p>	<p>O sistema híbrido proposto tem potencial para aumentar os lucros obtidos das empresas que operam as usinas hidrelétricas, ao utilizar o sistema fotovoltaico flutuante para alimentar o sistema que realiza o manejo das macrófitas, agora sendo utilizadas para geração de biogás.</p>
---	---------------------	--	--

Fonte: Autora.

CONCLUSÃO

Pode-se concluir que as usinas fotovoltaicas flutuantes são sistemas viáveis e que podem trazer grandes benefícios para o Brasil. Uma certeza é que o Brasil dispõe de grande disponibilidade de luz solar, além de grandes lagos e reservatórios onde podem ser construídas esses sistemas. Alguns pontos devem ser estudados com maiores detalhes, como as partes construtivas dos equipamentos a serem utilizados, pois são estruturas ainda novas e ainda em desenvolvimento e, conseqüentemente, redução de custos.

Alguns problemas relatados foram a dificuldade de trabalhar em locais com muita umidade, o que pode contribuir para a redução da vida útil dos equipamentos, problema esse que deve ser controlado com o uso de materiais adequados para essa aplicação; e as barreiras em relação a licenciamento ambiental e restrição de uso da área. No caso de usinas hidrelétricas, esse problema torna-se menor visto que já são áreas licenciadas e muitas vezes sem outro uso para a água.

Outro ponto importante a destacar é em relação à diminuição da evaporação da água dos lagos e reservatórios onde são instalados os sistemas flutuantes. Ao mesmo tempo em que essa redução é benéfica, visto que o nível dos reservatórios pode

se manter mais alto, gerando mais energia, ou que essa água pode ser aproveitada para uso da população, reduzindo a necessidade de caminhões-pipa ou construção de poços, é importante analisar os impactos que essa diminuição da evaporação pode causar na umidade da atmosfera e nas plantas locais.

Em relação à competitividade econômica em relação às usinas fotovoltaicas flutuantes e as convencionais, hoje a convencional se mostra mais vantajosa, porém o fato da convencional utilizar de uma área que ficará comprometida para outras atividades, e a flutuante utilizar uma área sem uso, mostra que é importante analisar cada caso para verificar se esse custo a mais não se mostrará benéfico de outras formas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Rodrigo Latuf et al. ETAPAS CONSTRUTIVAS DE UMA ESTRUTURA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE DESENVOLVIDA NO BRASIL. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2020.

COSTA, Rosalina Madalena Correia. **Avaliação do Comportamento do Software Pvsyst para Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes**. 2020. Tese de Doutorado. Instituto Politecnico do Porto (Portugal).

DA SILVA, Angélica et al. Energia solar fotovoltaica: estudo da diversificação da matriz energética brasileira com a inserção de usinas fotovoltaicas na superfície das represas das hidrelétricas. **ForScience**, v. 10, n. 1, p. e00764-e00764, 2022.

DE SIQUEIRA, Daniel Carlos Santos; DE ALMEIDA SOUSA, Vinicius Davi; DA SILVA LESS, Diani Fernanda. Sistema fotovoltaico flutuante, principais entraves e desafios de implantação no Brasil: uma revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e45311125084-e45311125084, 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. BEN 2022 - Relatório Síntese: ano base 2021, Rio de Janeiro, 2022.

LOPES, Mariana Padilha Campos. **USINAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTES COMO ALTERNATIVA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA E REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM AÇUDES DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

NOVAK, Luis Henrique; BORBA, Ricardo Augusto. Sistemas fotovoltaicos flutuantes: Aspectos positivos e desafios. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2018.

REBELO, Ricardo Alexandre Rodriguez. **Estudo do potencial de sistemas fotovoltaicos flutuantes em massas de água doce e marinhas**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora.

RODRIGUES, Pedro Sinval Ferreira et al. PLATAFORMA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE DE SOBRADINHO (BA)- DESAFIOS E ESTRATÉGIAS DE IMPLANTAÇÃO. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2020.

RUSCHEL, Cristiano Saboia et al. Aspectos Tecnológicos e Socioambientais dos Sistemas Fotovoltáicos Flutuantes. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2020.

SILVA, Leonardo Dalcin. Sistema fotovoltaico flutuante integrado ao manejo de macrófitas aquáticas para produção de biogás em reservatórios de usinas hidrelétricas. 2021.

STRANGUETO, Karina Maretti. Estimativa do potencial brasileiro de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidroelétricas. **Campinas: Universidade Estadual de Campinas**, 2016.

SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEAMENTO APLICADO À EDUCAÇÃO DO CAMPO NO CONTEXTO DO ENSINO DE FÍSICA

*Fábio Soares da Paz
Albemerc Moura de Moraes*

INTRODUÇÃO

O Curso de Licenciatura em Educação do Campo com ênfase em Ciências da Natureza (LEDOC/CN) da Universidade Federal do Piauí (UFPI) tem como objetivo formar professores para as escolas do campo na área de ciências da natureza (Física, Química e Biologia) para atuação de forma multidisciplinar, integrada, em espaços e tempos pedagógicamente pensados e em situações reais de aprendizagem que respondam às necessidades dos sujeitos do campo por meio de estratégias que ofereça ao profissional formado possibilidades para interferir na sua realidade e dos seus alunos (PAZ, 2019).

A Educação do Campo tem como especificidade a abordagem direcionada para a população rural, que, por sua vez, foi definida como populações do campo, compreendendo

os agricultores, extrativistas, ribeirinhos, assentados, acampados, quilombolas, indígenas, entre outros. Nesse contexto, escola do campo é aquela situada em área rural, ou situada em área urbana, desde que atenda, em maioria, as populações do campo. (BRASIL, 2013).

Ensinar Ciências no curso LEDOC/CN, seja a Física, a Química ou Biologia, requer pensar na educação do campo através dos seus princípios em uma perspectiva que se direciona para práticas e pedagogias próprias. Dessa forma, a organização desse curso é em sistema de alternância, cuja divisão das atividades se dão em tempos distintos e complementares chamados de tempo universidade e tempo comunidade. O primeiro tempo citado é desenvolvido em semestre acadêmico no *lócus* da UFPI, oportunizando-se ao aluno o desenvolvimento de estudos, projetos, iniciação à pesquisa, planejamento de práticas de intervenção, entre outros, e o tempo posterior é onde será desenvolvido a apresentação de projetos equivalentes aos estudos da realidade e pesquisas que podem ter origem no primeiro tempo, observando sua vinculação ao contexto das escolas do campo.

Por sua vez, o ensino de Física no âmbito dos cursos LEDOC/CN deve acontecer articulado aos princípios da educação do campo que reconhecem o trabalho dos saberes escolares à importância da escola no diálogo com experiências e estudos relacionados ao desenvolvimento social, sustentável, econômico. Deve ser observado as condições concretas da vida no campo, e deve-se valorizar a identidade da escola do campo por meio de projetos com conteúdos e metodologias adequadas às reais necessidades dos seus alunos. (BRASIL, 2010).

Nesse contexto, evidencia-se que os temas relacionados as energias renováveis na educação do campo podem ser promovidas nas disciplinas do curso LEDOC/CN, no contexto do ensino de Física, de modo a proporcionar aos estudantes em formação os saberes necessários a aplicação e utilização da energia solar

no âmbito campesino, promovendo saberes oportunizados pelos conhecimentos no campo social, sustentável, econômico, metodológico e didático. Isto posto, é de grande importância a aplicação das energias renováveis para o contexto rural, principalmente a abordagem didática do kit de bombeamento fotovoltaico como princípio de inserção as energias renováveis para os alunos em formação e o público escolar do campo.

Considerando as dificuldades históricas dos povos do campo decorrente da inexistência de políticas eficientes que possam viabilizar a convivência permanente do homem com o semiárido, os estudos nesse contexto, viabilizam saberes plurais, além de contribuir para diminuição das desvantagens educacionais que diferenciam qualitativamente a educação do meio urbano e do meio rural. Assim, os estudos que constituem a abordagem das energias renováveis contribuem para diminuir as desigualdades no contexto campesino. Esse tipo de energia, em pauta a fotovoltaica, tem potencialidade para atrair os discentes e docentes envolvidos no contexto da problemática das novas tecnologias e meio ambiente em diálogo permanente com novas metodologias de ensino e sustentabilidade.

Por sua vez, o contexto da aplicação do sistema em pauta, torna-se fecundo quando se têm ciência da localização da cidade de Picos (PI), distante da capital aproximadamente 316 km, assentada no Território Vale do Rio Guaribas, semiárido, região Nordeste, a saber, uma das regiões mais povoadas entre as terras secas existentes nessa região, cobrindo cerca de 11% do território nacional e 39 municípios. Contudo, embora o cenário climático para a região indique uma redução de chuva intensa no semiárido, com mudanças mais intensas no médio e longo prazos e um clima futuro mais seco, com secas mais extensas e com estação chuvosa muito reduzida ou quase ausente, principalmente no sertão da região, na totalidade (MARENGO *et al.*, 2011), o grande potencial natural solar do semiárido piauiense conta com uma elevada

disponibilidade de radiação solar com índice de radiação de 26 MJ/m².dia e uma insolação solar global média anual superior a 7 horas/dia, apresentam-se como potencialidades que podem ser aproveitadas tanto do ponto de vista térmico quanto fotovoltaico (MORAES, 2015).

Contudo, embora o atendimento de energia elétrica tenha evoluído significativamente nos últimos anos graças a iniciativas governamentais como o Programa Luz para Todos (PLpT) do Governo Federal e Amazônia Legal, que beneficiou no mês de agosto do corrente ano 17 milhões de pessoas nas áreas mais remotas do país, incluindo regiões do norte do país e populações rurais, abrangendo cerca de 3,6 milhões de família contempladas, ainda existe um descompasso energético no país, principalmente nos espaços mais isolados. Estima-se um percentual mais baixo de cobertura de energia elétrica nos domicílios em situação rural, revelando a importância de fontes alternativas para essas populações. (IBGE, 2022). Além disso, em muitos casos a eletrificação não contempla a extensão de rede até a fonte de água para uso do pequeno agricultor que possui poço ou fonte d'água para plantio, ou abastecimento, sendo promissor o conhecimento sobre o uso de sistemas fotovoltaicos de bombeamento. (MORAES, 2015).

Por outro lado, a educação do campo vem sendo discutida no sentido do atendimento, atendendo-se aos *déficits* dos fatores educacionais, visando adequar o modo de viver, pensar e produzir das populações identificadas com o campo - agricultores, criadores, extrativistas, pescadores, ribeirinhos, caiçaras, quilombolas, seringueiros (BRASIL, 2013).

Nesse intento, a utilização de um kit didático com Sistema Fotovoltaico de Bombeamento (SFB) para o ensino de Física no contexto da educação do campo apresenta-se como ferramenta didática de grande potencial, haja vista a contribuição para a formação dos futuros professores do campo na área das Ciências

da Natureza, além da necessária reflexão sobre as aplicações da energia solar visando a adequação da população rural e sua convivência de forma sustentável com o semiárido brasileiro.

Além disso, diante dos novos parâmetros da educação brasileira, torna-se essencial garantir ao educando o desenvolvimento de conhecimentos práticos e contextualizados que possam responder às demandas sociais da vida contemporânea, situando-os em funções da sociedade em que sejam capazes de intervir e questionar sua própria realidade, respeitando o meio ambiente (BRASIL, 2000). Assim, a utilização de um kit didático envolvendo um SFB cujo funcionamento interprete a real necessidade de um sistema de irrigação com materiais de baixo custo e equipamento reduzido, evitando custos elevados, aliado a um conjunto de divulgação, apresentação e diálogo sobre energias renováveis com foco na energia solar fotovoltaica, possibilita o conhecimento nessa área para os futuros professores do campo inseridos nos cursos LEDOC/CN, bem como para os alunos das escolas do campo alvo da apresentação de tais projetos. Isto posto, este trabalho apresenta a construção e utilização de kits didáticos com Sistema Fotovoltaico de Bombeamento no contexto do ensino de Física mediante projeto em curso LEDOC/CN.

DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DO KIT DIDÁTICO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO

O tempo comunidade do curso LEDOC/Ciências da Natureza do *Campus* Helvídio Nunes de Barros da UFPI, localizada em Picos, Piauí, pressupõe o desenvolvimento de atividades através, entre outras, do estudo da realidade dos povos do campo e de projetos que podem ser desenvolvidos no âmbito das disciplinas do curso ou de forma interdisciplinar. A consolidação desse tipo de atividade passa pelo momento de socialização que prevê a comunicação dos

saberes trabalhados pelos alunos, estendendo-se para reflexão e discussão no seio comunitário, escolar e profissional pertinentes à realidade discente.

Alguns artigos científicos, trabalhos publicados em eventos, dissertações, teses, entre outros, tratam da importância, desenvolvimento e aplicação da interface entre o kit didático com bombeamento fotovoltaico, energias renováveis e o ensino de Física, trazendo à baila a importância desse tema. No assunto em destaque, Fonseca *et al.* (2018) trata da concepção e utilização de um kit didático de sistema fotovoltaico para bombeamento de água enfatizando a importância da utilização do kit na divulgação dos conceitos e aplicações da energia solar. Paines (2014) desenvolveu um kit didático de geração de energia solar para oferecer aos estudantes o aprimoramento dos conteúdos teóricos por via de atividades práticas, oferecendo ao estudante o contato com a realidade física e instrumental.

Tocarte *et al.* (2014) usaram o tema das fontes renováveis de energia para realizar um trabalho diferenciado no intuito de proporcionar aos estudantes a aprendizagem significativa. Foi apresentado aos alunos o kit didático em uma sequência didática, obtendo-se como conclusão que a abordagem proporcionou aos alunos maior conscientização sobre o tema das fontes renováveis e não renováveis de energia e relações sobre o entendimento do conteúdo de Física. Os autores, Brito *et al.* (2015) relataram a experiência na construção de um kit didático para o ensino de física que apresenta em pequena escala um SFB para fins de irrigação. O estudo aponta o grande potencial envolvendo a aplicação de uma metodologia diferenciada, podendo proporcionar aos alunos, maior compreensão dos fenômenos físicos envolvidos no processo de uma situação real.

Costa *et al.* (2022) desenvolveram materiais didáticos para facilitar o ensino sobre energia solar fotovoltaica ministrados para alunos da rede pública do estado do Piauí, no qual utilizaram a

plataforma Arduíno integrada ao microcontrolador ATMEGA 328 para simular e automatizar o sistema tornando-o “inteligente”. A ação parte de projeto de extensão desenvolvido pelos autores com ações diversas nas comunidades escolares, em espaço de educação ambiental da UFPI na cidade de Picos (PI), no “Espaço de Convivência com o Ambiente Semiárido (E-CASA)”, além de seminários e conferências locais.

Conforme os estudos de Silva, *et al.*, (2018), essas ações tornam viáveis as modificações do aparato para fins didático, sendo possível sua modificação e melhoramentos, em um viés da cultura do “DIY-Do it Yourself”, ou “faça você mesmo”, gerindo-se a cultura *maker* no espaço educativo tradicional, que se inclina para uma eficiente ferramenta no ensino de ciências, consistindo no aproveitamento e/ou conserto de objetos, sem descartá-los.

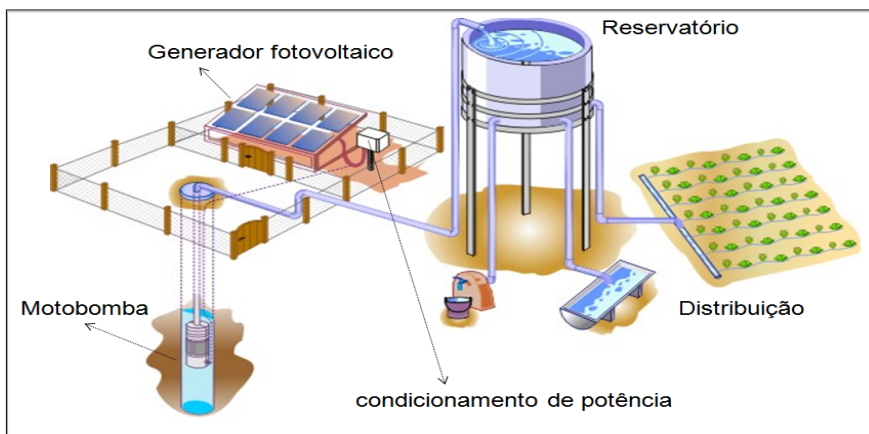
Conforme o contexto supracitado deu-se o desenvolvimento do kit didático com Sistema Fotovoltaico de Bombeamento, discutido neste estudo, observando-se a utilização, sempre que possível, de materiais de baixo custo, de modo a obter um sistema mais simples e econômico para fins didáticos e pedagógicos. Nessa senda, o kit didático foi desenvolvido no tempo comunidade no âmbito da disciplina de Física básica do curso LEDOC/CN com a parceria do Grupo de Estudos Interdisciplinares de Energia Solar da Universidade Federal do Piauí (GIPES/UFPI).

Foi realizado o planejamento para construção do kit nos encontros do tempo comunidade na UFPI. A proposta foi organizada em três períodos: i) elaboração do projeto; ii) construção e iii) apresentação. O caminho percorrido iniciou-se na escolha do projeto a ser construído e apresentado no tempo-comunidade do curso LEDOC/CN. Dessa forma, cada grupo de aluno das diversas disciplinas, já posteriormente organizado e baseado no conteúdo ministrado, teve como propósito apresentar o trabalho, seja na forma de oficinas pedagógicas, eventos, intervenções, configurando em uma alternativa para a efetivação

do processo de ensino, permitindo aos futuros licenciados em Educação do Campo consolidar o que eles aprenderam durante o tempo universidade, construir novos saberes durante o tempo comunidade por meio do diálogo entre os discentes e docentes do Curso e produzir recursos didáticos para serem trabalhados em escolas campesinas no interior do Piauí com interface na abordagem das energias renováveis através do kit didático com SFB.

Em contexto geral, um SFB apresenta basicamente os seguintes componentes: gerador fotovoltaico; equipamentos de condicionamento de potência (inversor, controlador, etc.); grupo motobomba; reservatório para armazenar água e sistema de distribuição (MORAES, 2015; PINHO *et al.*, 2014). A Fig. 1 ilustra um SFB padrão destinado ao abastecimento humano, animal e irrigação.

Figura 1 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico de bombeamento

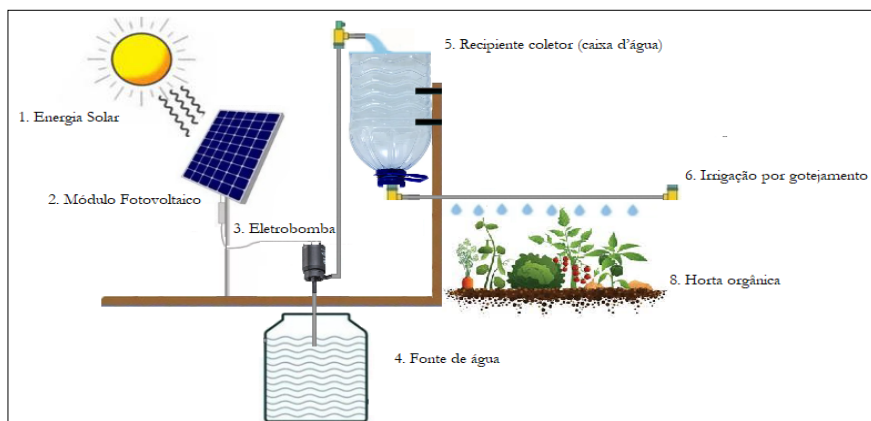


Fonte: (MORAES, 2015)

Entretanto, no kit didático com SFB discutido nesse estudo, o sistema foi simplificado para fins didáticos e oportunidade

econômica, conforme Fig. 2, no qual foi utilizado a energia fornecida pelo sistema fotovoltaico em tensão contínua (~12 volts), alimentando diretamente uma eletrobomba de para-brisa de carro de modelo universal (12 volts). O intuito desse procedimento foi dispensar o inversor e minimizar os custos. Com o fornecimento da energia elétrica pelo módulo fotovoltaico, a eletrobomba faz a elevação da água armazenada no anteparo chamado fonte de água para o anteparo chamado de recipiente coletor ou caixa d'água. Por sua vez, a água coletada e armazenada na caixa d'água, segue “por gravidade” na tubulação que faz a irrigação por gotejamento em uma pequena plantação de feijão, estes revestidos de cestos plásticos usados e recicláveis para a não degradação do meio ambiente.

Figura 2 – Configuração do kit didático com Sistema Fotovoltaico de Bombeamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A Fig. 3 traz o primeiro kit com SFB montado pelos alunos ligando a placa solar de 100 Wp em pleno funcionamento para testes.

Figura 3 – Aparato real do kit didático com Sistema Fotovoltaico de Bombeamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

O módulo fotovoltaico foi obtido pelos alunos do curso LEDOC, que residem no município de Alagoinha do Piauí localizada aproximadamente a 70 km de Picos (PI). Conforme os alunos, o módulo é proveniente dos sistemas do PRODEEM¹ desativados na região. O módulo foi adaptado pelos alunos com estrutura metálica simples que proporciona a inclinação na direção do sol e facilita as explicações do ângulo de incidência solar.

A fiação para ligação, a altura do anteparo para sustentação do reservatório de água, bem como o uso dos recipientes recicláveis para o plantio a ser irrigado foi elaborado pela equipe, observando-se o reuso dos materiais, a pressão e a força d'água do

1 De acordo com Fedrizzi (2003) e Moraes (2015), os primeiros sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água do Brasil foram instalados em meados da década de 1980, tendo como maior expressão o Programa de Desenvolvimento Energético de Estado e Municípios (PRODEEM) com 2.485 sistemas instalados, com uma média de 0,5 kWp de potência, em povoadamentos rurais para uso comunitário. Entretanto, a grande maioria destes sistemas saíram de operação por problemas técnicos, gestão e manutenção.

recipiente coletor (caixa d'água) para a irrigação por gotejamento, o que mostra a preocupação com a questão ambiental. A figura 3 mostra a organização simplificada para melhor visualização do sistema observando-se as etapas.

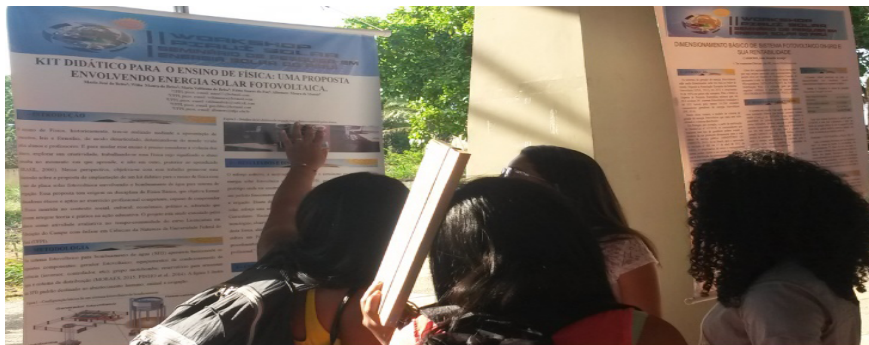
METODOLOGIA: CONSTRUÇÃO, DIVULGAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO KIT DIDÁTICO

O presente estudo pauta-se na pesquisa do tipo qualitativa, no qual aborda aspectos da realidade que não podem ser quantificados em valores e números, no qual privilegiou-se a sequência lógica dos fatos comprovadamente documentados no relato das experiências vivenciadas em um universo de significados que estão implícitos no processo educativo (RICHARDSON, 2009; MINAYO, 1994; SILVEIRA; CÓRDOVA, 2018).

O kit didático com Sistema Fotovoltaico de Bombeamento no contexto do curso LEDOC/CN objetiva a construção de saberes dos alunos no e para o campo mediante projetos que possibilitem aos estudantes o protagonismo de suas ações. Nesse propósito, foram produzidos dois kits didáticos semelhantes com a utilização do mesmo módulo fotovoltaico em tempos comunidades diferentes, culminando na apresentação do kit em dois eventos, em uma escola além da realização de duas oficinas. A primeira turma a participar do projeto, fez a construção do primeiro kit com materiais de baixo custo e o apresentou no “II Workshop Piauí Solar e I Seminário de Pesquisa em Energia Solar do Piauí” em Teresina e no evento “VI Semana de Biologia e II Encontro Interdisciplinar de Educação do Campo: Integrando e Vivenciando Saberes no Sertão Piauiense” em Picos. A apresentação nos eventos oportunizou aos alunos, conhecimento na área das energias renováveis e a divulgação do aparato na forma científica através de apresentação em banner no evento citado, conforme Fig. 4.,

e através da apresentação, no segundo evento da sequência, de oficina com montagem e funcionamento do Kit.

Figura 4 – Apresentação de banner no Workshop Piauí Solar



Fonte: Acervo da equipe (2016)

Apresentação da oficina intitulada de “Montagem de um sistema de irrigação com energia solar”, envolveu o uso de um livreto didático de montagem com explicações sobre energia solar, sistema fotovoltaico de bombeamento, vantagens e benefícios para a agricultura. Além disso, traz a justificativa do uso das energias renováveis no território brasileiro, principalmente no Semiárido, região contextualizada deste estudo. A Fig. 5 mostra o livreto utilizado na oficina.

A montagem do sistema em forma de oficina envolveu os alunos ministrantes nas etapas: i) apresentação dos aspectos básicos teóricos sobre a energia solar, as vantagens e justificativas do uso do SFB; ii) recursos didáticos para montagem do Kit, composto da placa solar, tubulação para água em cano PVC, madeirite de sustentação, bomba usada em para-brisa de carro (motobomba), recipiente de água (caixa d’água de 3,5 litros), reservatório de água (poço), entre outros; iii) passo a passo da montagem do sistema evidenciando a variação de tensão no módulo fotovoltaico nos diferentes ângulos e sombreamentos com ajuda

de um multímetro. Por fim, observou-se o pleno funcionamento do sistema de irrigação com energia solar fotovoltaica.

Figura 5 - Livroto de orientação da oficina: montagem de um sistema de irrigação com energia solar

MORAES, A. M. A difusão de acesso à água com sistemas fotovoltaicos de bombeamento no semiárido brasileiro. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade Federal do ABC, Santo André, 2015.

ROSA, D. J. de M. Sistemas fotovoltaicos descentralizados de dessalinização de água para consumo humano: um estudo de sua viabilidade e contratação. 2011. 109 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/36/36131/tde-07022014-041029>. Acesso em: 11 Jan. 2015.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA SOLAR. Disponível em: <http://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar>. Acesso em: 12 de maio de 2016, às 17h.

TORRES, M.A.; FERREIRO, G.; SOARES, D. A. T. Física elétrica e termodinâmica. V. 1. Mecânica - 1. ed. - São Paulo: Moderna, 2002.

EXECUTORES.

Conferencistas: Prof. Dr. Fábio Soares da Paz

- Graduado em Física UFPA/UFPA; Mestre em Educação UFPA/UFPA; Doutorando em Ensino de Ciências e Matemática UFPA/UFPA
- Professor do curso LEOC Ciências da Natureza UFPA

Maria Yvanna de Brito

- Dicente do curso LEOC Ciências da Natureza UFPA; Técnico em Desenvolvimento Infantil SEDUC

Márcia de Jesus Costa

- Dicente do curso LEOC Ciências da Natureza UFPA; Dicente do curso de Pedagogia FECC

Yvesilson José dos Santos

- Dicente do curso LEOC Ciências da Natureza UFPA

geração fotovoltaica, a energia não é mais acumulada em baterias, ou seja, ao invés de acumular carga em baterias, acumula-se a água bombeada em reservatórios elevados para uso posterior (ROSA, 2015).

JUSTIFICATIVA

Em pouco para a energia solar é viável em quase todo o território brasileiro, com grande riqueza de irradiação, principalmente no semiárido, apresentando média anual superior a 7 horas/dia (MORAES, 2013), o que possibilita a utilização das placas fotovoltaicas na geração de energia elétrica, a partir do efeito fotovoltaico.

Sendo assim esse tipo de energia pode trazer benefícios para a agricultura por ser também uma maneira sustentável torna-se uma forma mais econômica e barata do agricultor trabalhar com irrigação, e menos agressiva ao meio ambiente por ser sustentável.

RECURSOS DIDÁTICOS.

Placa solar, Tubulação de água (cano PVC), Madeira.

MONTAGEM DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM ENERGIA SOLAR

Sistema fotovoltaico na irrigação por gotejamento: uma proposta econômica tanto de energia, quanto de água para a agricultura familiar.

1. Cortar as garrafas em bandas.

2. Colocar o odobo dentro das garrafas cortadas.

3. Plantar os pés de feijão (ou outro tipo de hortaliças).

4. Posicionar as garrafas pet na placa de madeira, ficando com uma pequena inclinação, para que haja o escoamento da água.

5. Posicionar o suporte e a caixa d'água no local selecionado.

6. Conectar com a cola de cano (PVC), a tira 20", um pedaço de cano 20", um fit (PVC) 20", para cima um pedaço de cano, para baixo outro pedaço de cano, um segundo e outro pedaço de cano 20", respectivamente.

7. Conectar a tubulação de cano com a caixa d'água.

8. Instalar o sistema de irrigação, com mangueira transparente, beneficiando toda a plantação.

9. Fazer pequenos furos na mangueira com o auxílio de pitele ou alfinete, os mesmos, localizados na superfície das garrafas em locais estratégicos, para que todas as plantas se beneficiem.

10. Encapar um tape (o mesmo deve conter um furo) em uma das pontas da mangueira. A outra ponta da mangueira deve ser tampada com um pedaço de arame, para que o único destino da água seja os furos, posicionados na plantação.

INTRODUÇÃO

A energia solar é a energia produzida pelo Sol. Essa energia pode ser convertida em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. No sistema fotovoltaico, os painéis solares captam a energia do sol, transformando-a em energia elétrica. Uma das principais vantagens da energia solar é o fato de ser uma energia renovável, além de ser abundante em locais semiáridos.

As vantagens do uso de energia solar são várias: uma vez que é considerada fonte limpa e sustentável, pois não libera resíduos na atmosfera e utiliza como fonte o sol gerador de energia 100% renovável. Em uma atividade produtiva, onde a disponibilidade de energia elétrica é um dos requisitos básicos para a sua manutenção e elevação da produtividade por meio da irrigação, a utilização da energia solar e a opção fotovoltaica apresenta-se como uma alternativa promissora.

O sistema de bombeamento fotovoltaico (SBF) oferece a vantagem da eliminação das bombas utilizadas em outros sistemas de geração solar fotovoltaica, que acarreta na diminuição do custo do sistema e eliminação dos problemas relacionados à reposição e descarte das mesmas. Nesse caso, com o correto dimensionamento do sistema de geração e das caixas d'água (para armazenamento da água bombeada), e bomba d'água com adaptações à:

- 11_ Encapar a bomba d'água e o interruptor no suporte.
- 12_ Conectar a bomba na caixa d'água por meio da mangueira transparente.
- 13_ Conectar a bomba ao poço (recipiente) por meio de outra mangueira transparente.
- 14_ Conectar a bomba ao interruptor, com pedágio de fio flexível (verniz preto). Isolado com uma fita isolante.
- 15_ Conectar o interruptor à placa solar, com o fio flexível (verniz preto), respeitando a ordem das cores.
- 16_ Verificar se a energia das placas solares, gerada através do sol está de acordo com a capacidade da bomba, utilizando um Multímetro na opção de Voltagem, caso não esteja, ajuste para que os raios solares possam atingir a placa estejam em sentido horizontal atingindo um ângulo de 90° em contato à placa solar.
- 17_ Verifique se todas as partes estão conectadas corretamente, após a montagem do Sistema. Após a verificação, a mangueira está pronta para uso.

REFERÊNCIAS.

Fonte: acervo da equipe (2016)

A apresentação do segundo kit didático com Sistema Fotovoltaico de Bombeamento, semelhante ao primeiro, foi apresentado por outra equipe de estudantes do tempo comunitário da LEDOC/CN na Escola Municipal Central Educacional Maria

Gil de Medeiros, localizada na região de Picos (PI), através de exposição para os alunos do Ensino Fundamental com o objetivo de levar o conhecimento sobre fontes renováveis de energia, especialmente a irrigação com energia solar através do SFB.

A organização para apresentação do projeto kit didático com Sistema Fotovoltaico de Bombeamento, como já enfatizado, se deu no âmbito do tempo comunidade. Houve um planejamento sistematizado para a preparação da equipe de alunos envolvidos no projeto intitulado de “O Diálogo de saberes com a Comunidade Quilombola Canabrava dos Amaros: Feira de Ciências por meio de experimentos e/ou jogos com materiais de baixo custo”. O objetivo foi elaborar feira de ciências com experimentos de Física, Química e Biologia e/ou jogos com materiais de baixo custo, de modo a promover o diálogo entre os saberes curriculares e do cotidiano, a ser exposta na Comunidade Quilombola Canabrava dos Amaros. Esse propósito foi considerado diante do que preconiza o Projeto Pedagógico do Curso LEDOC/Ciências da Natureza, no qual apresenta três grandes eixos que caracterizam o tempo comunidade: a) Estudos da realidade, pesquisa e práticas pedagógicas nas comunidades, nos assentamentos, áreas de agricultura familiar ou escolas rurais ou do campo, entre outros espaços campestres; b) Construção de dados para elaboração do TCC; c) Excursões didático-pedagógicas. (UFPI, 2017).

Assim a organização e planejamento das ações contou com a apresentação da proposta para os alunos, divisão em grupos no tempo comunidade, definição da unidade temática ou problemática a ser abordada através do experimento, definição dos saberes científicos e do cotidiano, definição do experimento e/ou jogo. Além disso, abordou-se a pré-apresentação dos experimentos e/ou jogos (para os professores na UFPI), montagem da exposição e pré-teste. Por fim, consolidou-se a data da exposição na comunidade.

Ressalta-se que a apresentação foi direcionada para a Escola Municipal Centro Educacional Maria Gil de Medeiros por motivos de locomoção de alunos e professores, observando-se que a escola citada é localizada mais próxima da UFPI e atendeu os requisitos da exposição.

Quanto a construção e montagem do Kit didático com Sistema Fotovoltaico de Bombeamento, todas as etapas ocorreram na UFPI. Após divisão dos grupos, houve reunião com os alunos para orientação, organização e busca do material reciclável, incentivo a pesquisa e explicações sobre o módulo fotovoltaico envolvendo segurança, manejo, medidas de tensão com multímetro entre outras abordagens, conforme Fig. 5.

Figura 5 – Montagem do kit didático e pré-testes



Fonte: acervo da equipe (2019)

Após a etapa de preparação e montagem foi realizado o encontro com a comunidade escolar. A apresentação ocorreu no pátio do Centro Educacional Maria Gil de Medeiros. A apresentação se deu no turno da manhã, no último horário dos alunos do ensino

fundamental II. Todos os alunos foram conduzidos ao pátio pela equipe escolar sendo apresentados ao projeto. Inicialmente os discentes do curso LEDOC/Ciências da Natureza responsáveis pela apresentação do projeto, explicaram a importância das energias renováveis, alguns fenômenos físicos envolvidos como energia e pressão, o funcionamento do módulo fotovoltaico, a importância da irrigação através do Sistema Fotovoltaico de Bombeamento no Semiárido brasileiro e, na sequência, a atenção na observação do funcionamento do sistema, provocando alegria, interesse e entusiasmo do alunado. Fig. 6.

Figura 6 – Montagem e apresentação do sistema no Centro Educacional Maria Gil de Medeiros em Picos (PI)



Fonte: acervo da equipe (2019)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões aqui catalogadas foram abordadas em três categorias: i) As dificuldades da equipe para idealização, confecção e apresentação; ii) O aprendizado sobre as energias renováveis na educação do campo no contexto do ensino de Física do curso LEDOC/CN e, por fim, iii) as inferências sobre o

aprendizado dos alunos do ensino fundamental II na apresentação do kit didático.

O Curso LEDOC/CN da UFPI em Picos é um curso que forma professores ao nível de licenciatura para as áreas de química, física e biologia, em funcionamento na instituição desde 2014. Portanto, é um curso novo que usa as instalações já existentes da instituição, ou seja, laboratórios, salas de aulas entre outros espaços projetados para cursos já em funcionamento. No âmbito dessas discussões, trabalhar atividades experimentais que incentivam o protagonismo do aluno torna-se desafiador, haja vista a falta de espaços caracterizados para fins de laboratórios didáticos para o ensino da Física, no qual caberia o contexto da abordagem das energias renováveis.

Isto posto, evidencia-se aqui a determinação do grupo para a obtenção do material em toda a extensão da construção do aparato. O principal desafio foi a obtenção do módulo fotovoltaico para a construção do sistema. As discussões iniciais provocaram a curiosidade dos alunos LEDOC/CN, residentes na cidade de Alagoinha do Piauí, que lembraram de uma “placa de energia solar” em desuso a muito tempo em sua residência, trazendo esse assunto as discussões iniciais do projeto. Segundo os alunos, essa placa fazia parte de um conjunto de placas que alimentavam parte da eletricidade de uma das residências, datada do ano de 1980 a 1990. O surgimento do módulo fotovoltaico abriu caminho para vários questionamentos para a história desse equipamento. Sendo proveniente dos sistemas do PRODEEM desativados na região. Foi realizado a limpeza do módulo, inserido estrutura metálica simples para rotação em aproximadamente 180 graus para facilitar as explicações do ângulo de incidência solar. Por fim, foi realizado teste no módulo com multímetro ao ar livre constatando-se o seu funcionamento.

Os diversos materiais utilizados como, os fios, motobomba, baldes e multímetro para mediação de voltagem foi obtido pela

equipe, observando, sempre que possível, os materiais de baixo custo. Neste caminho observou-se que, a construção de kits didáticos com materiais desta ordem, deve ter correspondência de espaço e materiais adequados conforme apoio da instituição para melhorar o alcance e as discussões dos tópicos envolvidos.

As discussões supracitadas refletem à envergadura das reais necessidades do reconhecimento positivo e abertura de diálogos para as necessidades dos cursos de Licenciaturas em Educação do Campo (ARROYO, 2013). Nessa senda, Molina e Sá (2011) ao destacar a prioridade e relevância desses cursos na atuação e reflexão frente as escolas básicas do campo, registra a carência material e de boas experiências neste âmbito com vistas à transformação da realidade em contraponto ao atraso educacional vividos pelos sujeitos do campo. Diante disso, situa-se a importância dos SFB como kit didático para difusão de conhecimentos no contexto da educação do campo, bem como apresentar-se como alternativa de acesso a água e a convivência com o semiárido.

Quanto a aprendizagem dos alunos do Curso LEDOC/CN, infere-se que desde o planejamento conjunto, professor e alunos destacaram-se e protagonizaram a idealização e a construção do kit. No âmbito do aprendizado das ciências no curso LEDOC infere-se que o material produzido tem potencial de significatividade, especialmente para o contexto no qual os alunos em formação estão inseridos, haja vista ser o ambiente da educação do campo propício para as atividades que envolvam o alunado, observando as necessidades reais do seu labor, da sua família e comunidade.

Por certo, ao tratar das energias renováveis no tempo comunidade do curso LEDOC, busca-se nesse quadro o viés da perspectiva interdisciplinar e multidisciplinar numa visão holística que se sobrepõe ao simples laborar do paradigma da disciplinarização, buscando-se uma perspectiva que vá além da disciplinaridade. Nesse intento deve-se dialogar com as diferentes

áreas do saber, ir além do saber específico disciplinar na construção do conhecimento coletivo, contextualizado, democrático, relevante socialmente, ético, sustentável, com sensibilidade afetiva e estética. (UFPI, 2017).

Por meio das ações de estudo, planejamento, teste e pré-teste, foi possível discutir com os discentes executantes do projeto conceitos propostos no ementário das disciplinas de Física da LEDOC/CN como, tensão, corrente contínua, corrente alternada, lei de Ohm, pressão e energia. Além disso, evidencia-se uma breve pesquisa sobre os semicondutores, funcionamento e aplicações, com fins de uso nas placas solares fotovoltaicas. Apesar das dificuldades de relacionamento com alguns temas da Física observados e discutidos no âmbito do aparato tecnológico por parte de alguns alunos, as descobertas das relações dos conteúdos curriculares com a atividade do experimento proporcionaram entusiasmo, dedicação e curiosidades motivadas por perguntas diversas, como o relacionamento da Física com os problemas energéticos, ambientais e as novas tecnologias para produção de energia renovável.

No que tange o processo de aprendizado dos alunos das escolas parceiras através das atividades de intervenção no tempo comunidade e nos eventos que envolveram a ministração de oficinas didáticas, captaram-se as melhores interações através do intenso interesse do público pelo universo das energias renováveis. Nesse sentido objetivou-se favorecer o conhecimento do Sistema Fotovoltaico de Bombeamento para o uso em irrigação através da montagem e demonstração do kit didático. Dessa forma, observou-se no processo, uma intensa participação do público assistido, muitas perguntas a respeito das energias renováveis eólica e solar, principalmente esta última, objeto das apresentações e oficinas. Nota-se que a maioria dos participantes, estudantes e pessoas da comunidade, tiveram seu contato com um SFB pela primeira vez,

e que através da apresentação e oficinas do kit didático puderam perceber a viabilidade real do sistema e seus alcances.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Versar sobre o Sistema Fotovoltaico de Bombeamento voltado para aplicação didática e pedagógica no contexto da educação do campo observando a relevância das energias renováveis, trouxe um conjunto de reflexões que divulgam a importância crescente deste tema, haja vista pertinência no contexto campesino.

À luz do exposto, percebeu-se que o kit didático com Sistema Fotovoltaico de Bombeamento é um poderoso aliado do ensino no contexto da formação de professores no e para o campo, no qual possibilita intervir no ambiente, provocando intensas reflexões em diálogo com os diferentes saberes. Contudo, o sistema demonstra potencial significativo para oferecer aos estudantes em formação, futuros professores da educação do campo, o desenvolvimento de conhecimentos práticos e contextualizados que respondam às questões da demanda da vida contemporânea. Além disso, observando-se os fatores do meio ambiente na ênfase do uso da tecnologia fotovoltaica para a convivência com o semiárido e consequente melhoria de qualidade de vida das famílias campesinas.

A formação de projetos com potencial para intervenção, atração e protagonismo dos alunos, a saber, o kit didático com SFB evidenciado neste estudo, contribui para superar um dos principais desafios da educação do campo, que é construir o diálogo entre o processo formativo docente nos cursos de licenciatura em educação do campo com os conteúdos, material didático e relação pedagógica articulados a construção dos conhecimentos práticos e contextualizados para os alunos das escolas do campo e comunidade campesina.

Além do já exposto, o kit didático com sistema fotovoltaico de bombeamento desenvolvido no contexto da educação do campo com predominância de material de baixo custo, tem bastante aceitação dos alunos, que se tornam protagonistas do processo de construção e divulgação do sistema, além de obter e propagar conceitos básicos sobre as energias renováveis, energia solar fotovoltaica e, ainda, relacionar o contexto experimental e social vividos com alguns tópicos da Física. Dessa forma, evidencia-se nesse estudo que a construção, discussão e apresentação do sistema apresenta grande potencial didático e pedagógico e precisa ser inserido com atividade orgânica no contexto do ensino de ciências na educação do campo.

Agradecimentos

Este estudo contou com o apoio da Universidade Federal do Piauí (UFPI), da Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da UFPI, do Curso de Especialização em Energia Solar da UFPI. Agradecemos aos alunos do curso LEDOC/CN participantes dos projetos citados, aos eventos pela oportunidade da apresentação dos trabalhos e a escola pública, pelo acolhimento e parceria.

REFERÊNCIAS

Arroyo, M. 2013. Formação de professores do campo. In: Caldart, R. S.; Pereira, I. B.; Alentejano, P.; Frigotto, G. (Org.). Dicionário da Educação do Campo. Rio de Janeiro, São Paulo: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Expressão Popular, p. 361 – 367.

Brasil. Ministério da Educação., 2013. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão – SECADI. Educação do Campo: marcos normativos. Brasília: SECADI.

Brasil. Ministério da Educação., 2010. Parecer n. 11, de 07 de julho de 2010. Conselho Nacional de Educação. Assunto: Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental de 9 (nove) anos. Brasília, DF, 07 jun 2010.

Brasil. Ministério da Educação., 2000. Secretaria de Ensino Médio e Tecnológico. Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio. Brasília.

Brito et. al., 2015. Kit didático para o ensino de física: uma proposta envolvendo energia solar fotovoltaica. II Workshop Piauí Solar e I Seminário de Pesquisa em Energia Solar do Piauí, Teresina – PI.

Fonseca A. C. et al., 2018. Utilização de kit didático de sistema fotovoltaico para bombeamento na divulgação do uso da energia solar. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 17 a 20 de abril de 2018.

Fedrizzi, M. C., 2003. Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições aprendidas e procedimentos para potencializar sua difusão. Tese de Doutorado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE., 2022. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Pesquisas por Amostra de Domicílios, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. Características gerais dos domicílios e dos moradores. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102004_informativo.pdf. Acesso em: set. de 2023.

Marengo, J. A. et al., 2011. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande – PB.

Minayo, M. C. et al., 1994. Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 24. ed. Petrópolis: Vozes.

Molina, M. C.; Sa, L. M., 2011. A licenciatura em educação do campo da universidade federal de Brasília: estratégias político-pedagógicas na formação de educadores do campo. In: Molina, M. C.; Sa, M. L. (Org). Licenciaturas em Educação do Campo: registros e reflexões a partir das experiências-piloto (UFMG; UNB UFBA e UFS). Belo Horizonte: Autêntica Editora, p. 35-61.

Moraes, A. M., 2015. A difusão do acesso à água com sistemas fotovoltaicos de bombeamento no semiárido brasileiro. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Energia da Universidade Federal do ABC, Santo André.

Paines, P. A., 2014. Desenvolvimento de kit didático de geração de energia solar. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSM, RS.

Paz, F. S., 2019 Educação do Campo: Interfaces entre práticas curriculares e Formação de Professores de Ciências da Natureza, 2019. Tese (Doutorado em Educação) Faculdade em Educação – Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais.

Pinho, J. T.; Galdino, M. A., 2014. (org.) Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CRESESB. 530 p.

Richardson, R. J., 2009. Pesquisa social: métodos e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas.

Silveira, D. T.; Córdova, F. P., 2018. A Pesquisa Científica. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: nov de 2022.

Silva, M. A.; Silva, J. D.; Silva, J. S., 2018. Cultura maker e educação para o século XXI: relato da aprendizagem mão na massa no 6º ano do ensino fundamental/integral do SESC

LER Goiana - XVI Congresso Internacional de Tecnologia na Educação. Anais, Recife: SENAC.

Torcate, A. S; Pedrosa Filho, M. H. O; Barros, K. C. T. F. R., 2016. Utilização de kits de ensino sobre energia solar fotovoltaica como proposta didática para aulas de física do ensino médio. Congresso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación, Buenos Aires, Argentina.

Universidade Federal do Piauí., 2017. Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura em Educação do Campo. Campus Senador Helvídio Nunes de Barros, UFPI, Picos.

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (O&M) EM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE(SFCR)

Lenilson Martins Magalhães Ribeiro

Marcos Antônio Tavares Lira

INTRODUÇÃO

O processo de operação e manutenção (O&M) de um sistema fotovoltaico (SFV) é a atividade de gestão de uma usina de geração solar após a sua entrada em operação, integrando a fase principal desses sistemas e perdurando por toda sua vida útil. Esse processo envolve a operação em tempo real e a performance da usina fotovoltaica, bem como manutenções preventivas e corretivas para solução de problemas que interfiram na geração de energia e resultem na perda de produtividade (EMAP SOLAR, 2020).

Nos últimos anos, diferentes técnicas para inspeção de módulos fotovoltaicos foram avaliadas e convertidas em métodos de verificações locais; ainda assim, um grande desafio observado é com relação à identificação do que possui maior eficácia (MÜHLEISEN *et al.*, 2019). Isto porque os métodos variam desde simples procedimentos de inspeção visual, até técnicas

mais sofisticadas, como: abordagens de eletroluminescência e fotoluminescência no local, espectroscopia, inspeção termográfica infravermelha, além das medições de parâmetros elétricos pela verificação da curva I-V (curva que relaciona a tensão e a corrente de saída de um módulo ou conjunto de módulos).

A fim de aumentar a geração de energia e as receitas econômicas de um SFCR, as atividades de O&M têm se mostrado essenciais e, também, significam um mercado em expansão com um alto potencial de futuros negócios dentro do setor fotovoltaico (HACKE *et al.*, 2018).

Importante destacar que todo SFCR deve passar por procedimentos de inspeção e manutenção regulares, de forma a garantir uma operação mais eficaz e evitar a incidência de problemas futuros, permitindo a segurança dos usuários e confiabilidade para utilização da rede da concessionária, bem como aumento da vida útil da usina (PINHO; GALDINO, 2014).

Dentro do Processo de O&M trata-se da sujeira, que tem um impacto negativo nas receitas econômicas, não só porque reduz a quantidade de energia convertida pelos módulos fotovoltaicos, mas também devido a isso, introduz custos adicionais de operação e manutenção, ao mesmo tempo que aumenta a incerteza na estimativa do desempenho fotovoltaico, resultando em maiores riscos financeiros e preços impostos aos desenvolvedores de fábrica.

Os principais elementos que impactam no desempenho do módulo são deposição de poeira, alta temperatura, espectro de luz solar, orientação do painel e ângulo de inclinação (Vidyanandan, 2017).

MÉTODOS PARA O&M

Durante o período de operação das usinas de geração de energia fotovoltaica, devem ser programadas inspeções periódicas para que os problemas surgidos no SFRC dentre eles a sujidade, decorrente de particulado acumulado sobre os módulos não

onere a capacidade de geração de energia dos mesmos. Na tabela 1, vemos os tipos de manutenção que deve ser feita nos equipamentos da SFCR, por período de manutenção e o tipo de manutenção adequada a cada item.

Tabela 1 – Alguns componentes de uma UFV escolhidos para inspeção e posterior O&M

PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÕES NOS COMPONENTES EM USINAS FV			
COMPO-NENTE	ATIVIDADE	PERIODICIDADE	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE
INSPEÇÃO VISUAL			
	INSPEÇÃO DE INTEGRIDADE	Semestral	Verificar fixação e suporte do módulo na estrutura, a existência de danos na moldura, a existência de danos no vidro, se há sombreamento, estado da folha de dados, evidência de umidade na caixa de junção, se há corrosão na parte interna dos conectores, se há evidências de umidade e condensações, se há corrosão ou oxidação nas células fotovoltaicas, se os cabos CC estão fixados à estrutura.
	INSPEÇÃO VISUAL DOS CABOS	Semestral	Verificar a curva do cabo na caixa de junção, a integridade da conexão dos cabos, se há danos na isolação, a fixação dos cabos à estrutura.
	INSPEÇÃO TERMÓGRAFICA	Anual	Realizar procedimento de inspeção termográfica
VERIFICAÇÃO DE FUNCIONAMENTO			
	REAPERTO	Anual	Verificar se todos os parafusos estão com os torques corretos
	MEDIÇÕES	Anual	Medir a corrente que circula em cada série de módulos

	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	Anual	Realizar ensaio de levantamento da curva IxV dos módulos fotovoltaicos
	SUBSTITUIÇÃO DE MÓDULOS DANIFICADOS	Conforme necessidade	Substituir o módulo fotovoltaico danificado
	SUBSTITUIÇÃO DE CONECTORES	Conforme necessidade	Substituir conectores WM4 danificados
LIMPEZA			
	LIMPEZA DOS MÓDULOS	Anual ou conforme necessidade	Limpeza geral dos módulos
INSPEÇÃO VISUAL			
	INSPEÇÃO DE INTEGRIDADE	Semestral	Verificar o funcionamento de portas e travas, fixação na estrutura, evidências de animais na parte interna, evidências de água ou umidade no interior, existência de corrosão nos conectores e cabos, a vedação dos prensa cabos, a vedação dos dutos de cabos, estado dos componentes internos.
STRINGBOX	INSPEÇÃO VISUAL DOS CABOS	Semestral	Verificar a entrada dos cabos na stringbox, os terminais dos cabos estão corretamente conectados, os terminais dos cabos estão corretamente conectados, a existência de sinais de arcos elétricos, a existência de danos na isolação, o raio de curvatura dos cabos, o estado dos chicotes de cabos, a etiqueta de identificação dos cabos.
	TORGUEAMENTO E IDENTIFICAÇÃO	Semestral	Verificar as TAG's dos cabos, a identificação dos componentes

STRINGBOX	INSPEÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO	Semestral	Verificar a existência de diagrama elétrico atualizado
	INSPEÇÃO DOS DPS	Semestral	Verificar o estado dos dispositivos de proteção contra surtos
	INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA	Semestral	Realizar procedimento de inspeção termográfica
VERIFICAÇÃO DE FUNCIONAMENTO			
INSPEÇÕES E MEDIDAS	Realizar teste de medição de corrente em cada string Realizar teste de medição de tensão de circuito aberto/fechado Medir a tensão entre polos e terra Realizar teste de equipotencialização Realizar teste de isolamento do circuito	Anual	Verificar continuidade do circuito de aterramento
		Anual	Verificar o torque nos parafusos dos porta-fusíveis (2Nm), a fixação da porta fusível no trilho DIN, existência de avarias.
		Anual	Verificar o correto funcionamento do sensor de temperatura da string box, radiação e temperatura do módulo fotovoltaico.
VERIFICAR ESTADO DOS PORTAS-FUSÍVEIS	Anual	Testar funcionamento das portas e travas	
VERIFICAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DOS SENSORES	Anual		
VERIFICAÇÃO DE INTEGRIDADE	Anual		
LIMPEZA			
LIMPEZA GERAL	Anual	Limpeza interna Limpeza da estrutura	
INSPEÇÃO VISUAL			
CABOS	INSPEÇÃO DE INTEGRIDADE	Semestral	Verificar a existência de corrosão nos conectores dos cabos, nas terminações a existência de humidade/água

CABOS	INSPEÇÃO VISUAL	Semestral	Verificar se os cabos estão sob água, o raio de curvatura, se os cabos estão propriamente conectados, se os cabos apresentam sinais de arcos elétricos, a condição de montagem das eletrocalhas, a existência de danos à isolamento.
	IDENTIFICAÇÃO	Semestral	Verificar a existência de tag de identificação
VERIFICAÇÃO DE FUNCIONAMENTO			
	INSPEÇÕES E MEDIDAS	Semestral	Verificar a continuidade do circuito de aterramento
INSPEÇÃO VISUAL			
ELETRO-CENTRO	ATIVIDADE	PERIODICIDADE	<p>DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE</p> <p>VERIFICAR</p> <p>Verificar a ausência de penetração de poeira no interior do Eletrocentro, a lubrificação dos acessórios das portas e verificação das condições das borrachas de vedação, o funcionamento das molas aéreas fixadas nas portas de emergência, a rigidez e fixações dos guarda-corpos, escadas e corrimões.</p> <p>Verificar o nível de carga dos extintores de incêndio</p> <p>Verificar as condições de pintura externa quanto a existência de avarias e/ou pontos de corrosão (ferrugem) na estrutura</p> <p>Verificar a fixação das tampas das caixas de passagem, tomadas e interruptores. Corrigir a fixação das tampas, o estado do bandejamento, suportes e conexões, portas e fechaduras, fixação e suporte dos componentes internos, evidências de animais na parte interna, estado da vedação passiva, sinais de umidade na parte interna.</p>
		Semestral	
		Anual	

ELETRO-CENTRO	INSPEÇÃO VISUAL DOS CABOS	Anual	Verificar a entrada de cabos, sinais de arco elétrico, existência de bordas que possam danificar os cabos, terminais dos cabos conectados ao barramento, raio de curvatura, se há cabos com dano na isolamento.
	IDENTIFICAÇÃO	Anual	Verificar TAG's de identificação dos cabos, identificação dos componentes.
	INSPEÇÃO VISUAL DAS PROTEÇÕES ELÉTRICAS	Anual	Verificar o estado dos dispositivos de proteção de surto
VERIFICAÇÃO DE FUNCIONAMENTO			
ELETRO-CENTRO	INSPEÇÕES DE MEDIÇÕES	Anual	Verificar a continuidade do circuito de aterramento, Comparar valores medidos com valores do inversor
	VERIFICAR PARAMETROS	Anual	Verificar e registrar os parâmetros básicos Verificar e registrar a versão do firmware Verificar a existência de alarmes/falhas
	VERIFICAR SISTEMA DE VENTILAÇÃO	Anual	Verificar o funcionamento do sistema de ventilação e o sentido de rotação dos ventiladores
	VERIFICAR CABOS E TERMINAIS	Anual	Verificar o torque de conexões e componentes
	VERIFICAR CONEXÕES DO SISTEMA DE ATERRAMENTO	Anual	Verificar o estado e as conexões do sistema de aterramento do eletrocentro à malha de aterramento local. Reapertar todas as conexões

ELETRO-CENTRO	VERIFICAR SISTEMA DE EMERGENCIA	Anual	Verificar a carga das baterias do sistema de iluminação de emergência, a capacidade de armazenamento de energia elétrica com descarga total das baterias do sistema de iluminação de emergência, Verificar (medir) o nível de iluminação do sistema de iluminação de emergência. Comparar os valores medidos com os valores informados no memorial de cálculo luminotécnico.
	VERIFICAR ILUMINAÇÃO INTERNA, EXTERNA E DE PAINÉIS Anual	Anual	Verificar as luminárias internas e externas do eletrocentro para constatar se existem lâmpadas apagadas, necessitando substituição
	NOBREAK	Anual	Verificar o funcionamento das baterias
	LIMPEZA E RETOQUE DE PINTURA		
LIMPEZA GERAL	Anual	Limpar os componentes internos ao eletrocentro, a estrutura de forma geral	
RETOQUE DE PINTURA	Quando necessário	Realizar o retoque da pintura	
LIMPEZA DE VENTILADORES	Semestral	Limpeza dos ventiladores, dos filtros, das grades.	
LIMPEZA DOS FILTROS	Semestral	Limpeza dos filtros	

Fonte: Curso de O&M de UFV da Solar Plus Brasil (2022)

METODOLOGIA E AÇÃO.

Para este trabalho optou-se como metodologia o estudo de caso que segundo Yin (2005) trata-se de uma investigação empírica

de algo dentro de um contexto real reunindo assim informações detalhadas sobre uma situação. Assim, o Estudo de caso é descritivo com fonte documental, pois mostra a manutenção e limpeza de painéis fotovoltaicos instalados em um condomínio de Teresina.

Dentre os componentes de uma UFV foram escolhidos os módulos para o serviço de limpeza e, a usina onde foi realizada a manutenção esta localiza no condomínio Boulevard João XXIII, em Teresina-PI, onde foi montada na cobertura da torre 2. Foram instalados 185 painéis fotovoltaicos da marca DAH SOLAR HCP78X9 policristalino de 400 watts e 01 inversor Solis 60k-4G com 04 MPPT com 03 entrada cada. Os arranjos de placas foram 03 serie de 19 placas no MPPT 01, 03 serie de 18 placas no MPPT 02, 02 serie de 19 placas no MPPT 03 e 02 serie de 18 placas no MPPT 04.

A manutenção consiste em limpeza dos painéis com água, desengraxante neutro, escovão, máquina de pressão, rodo e pano limpo.

O sistema foi desligado a parte CC e CA, logo após foi injetada água em pressão para a remoção da sujeira mais acentuada e depois foi aplicado o desengraxante e passado o escovão para retirar a sujeira mais impregnada no módulo e em seguida o rodo para retirada do excesso de água e enxugado com o pano limpo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Podemos observar que houve um ganho de produção de energia após a limpeza dos módulos como vemos nos gráficos apresentados na figura 2 antes da limpeza e na figura 5 após a limpeza. No gráfico antes da limpeza foi usado o mês de novembro como base e foi visto que no mesmo mês o pico máximo de produção foi de 328 kwh/dia e após a limpeza que foi no mês

de dezembro foi utilizado o pico máximo de produção que foi de 348,60 kwh/dia. com isso observou o ganho de produção após as limpezas dos módulos fotovoltaicos. Então, sujeiras e manchas nos módulos como vemos na figura 1, realmente são uns dos fatores responsáveis pela baixa produção fotovoltaica das usinas e como outros fatores apresentados na tabela 1. Na figura 1, vemos os módulos com uma camada de sujeira bem acentuada e muitas manchas devido o acúmulo de água, pois a falta de inclinação de alguns módulos.

Figura 1 - Módulos antes da limpeza, com deposição de sujidade não uniforme

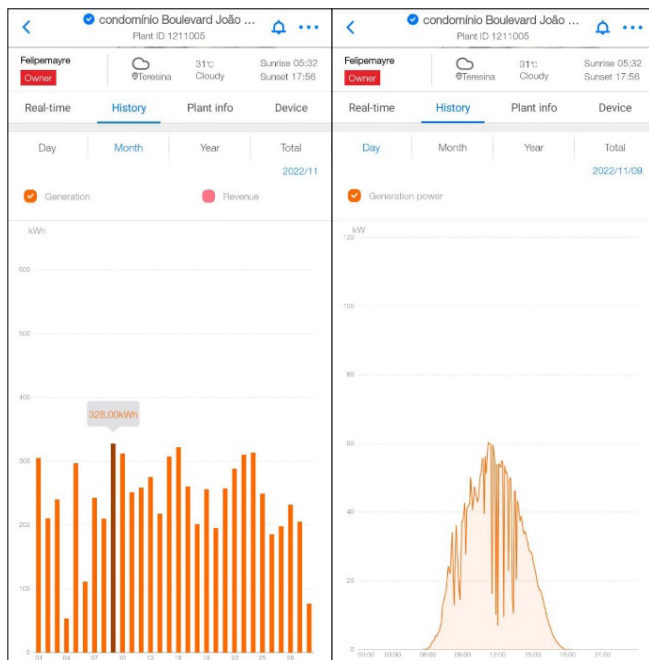


Fonte: Acervo do Autor (2022)

Na figura 2, esse é o gráfico de produção diária do inversor Solis, e observamos que a produção máxima antes da limpeza dos

módulos no período do mês novembro de 2022 em um dia foi de 328 kwh.

Figura 2 – Gráfico com valores de geração do SFV antes da limpeza.



Fonte: Acervo do Autor (2022)

Na figura 3, vemos a limpeza dos módulos com o esfregão, desengraxante neutro e jato de água com pressão, assim toda a sujeira foi retirada.

Figura 3 - Procedimento de Limpeza dos módulos



Fonte: Acervo do Autor (2022)

Na figura 4, vemos os módulos após a limpeza, com todas as manchas e sujeiras retiradas.

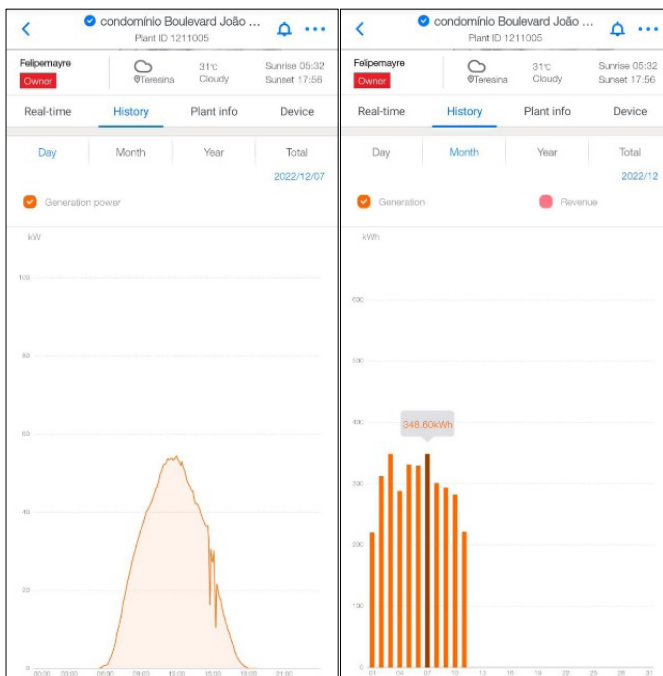
Figura 4 - Módulos após a limpeza



Fonte: Acervo do Autor (2022)

Na figura 5, esse é o gráfico de produção diária do inversor Solis, e observamos que a produção máxima após a limpeza dos módulos no período do mês dezembro de 2022 em um dia foi de 348,60 kwh.

Figura 5 – Gráfico com valores de geração do SFV após da limpeza.



Fonte: Acervo do Autor (2022)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos apresentados para os procedimentos de O&M em SFCR permitem um melhor entendimento das técnicas, auxiliando no planejamento e execução de tais atividades, bem como na definição da periodicidade necessária para realização dos procedimentos com segurança.

Os procedimentos propostos trazem contribuições ao processo de operação e manutenção de SFCR, possibilitando verificações de falhas e do desempenho de arranjos FV mesmo em usinas desprovidas de um sistema de aquisição de dados (supervisório) mais completos ou em situações de indisponibilidade de equipamentos portáteis de medição de parâmetros climáticos locais.

É de suma importância a busca por mecanismos que permitam a estruturação da O&M, tendo em vista a multiplicidade de fatores que interferem na gestão dos sistemas fotovoltaicos. A identificação eficaz das falhas, por meio do monitoramento dos dados de geração, bem como a realização de manutenções e limpezas periódicas poderão permitir a previsão de aquisição de materiais para reposição, planejamento das atividades e contratação de equipes terceirizadas, caso necessário, além de minimizar o tempo de interrupções em função de falhas e necessidade de substituição de equipamentos.

Sugere-se que trabalhos futuros busquem, além da discussão técnica e prática dos métodos apresentados, uma abordagem científica com maior profundidade, utilizando instrumentação adequada para monitoramento do sistema e aquisição de dados, incluindo sensores para coleta de informações ambientais (irradiância, temperatura ambiente, umidade, ventos, etc.), a fim de melhor contribuir com o desenvolvimento e consolidação das boas práticas para operação e manutenção (O&M) de sistemas SFCR.

Temperatura ambiente, índices pluviométricos, nebulosidade, velocidade dos ventos, latitude, além de poluição atmosférica e propensão à deposição de sujeira sobre os módulos fotovoltaicos, são variáveis que interferem na produção de energia de cada usina solar (COSTA; HIRASHIMA; FERREIRA, 2021). O efeito de poeira, sujeira, pólen e o acúmulo de outros contaminantes em módulos fotovoltaicos, comumente referido

como sujidade, é um importante fator ambiental que causa redução da geração de energia das usinas.

Entende-se, por fim, que as propostas para realização dos procedimentos de limpeza e inspeção termográfica dos módulos FV, bem como análise de perdas de geração, apresentadas neste trabalho, permitem a busca por melhor desempenho energético, bem como aumento da vida útil dos componentes, maior disponibilidade do sistema e ampliação dos ganhos econômicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16274**: sistemas fotovoltaicos conectados à rede: requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, 2014.

BARBOSA, E. R.; FARIA, M. dos S. F. de; GONTIJO, F. de B. Influência da sujeira na geração fotovoltaica. In: **Energia Solar e Eólica 2**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

BRAGA, D. S. *et al.* Relação entre distribuições não uniformes de sujidade e parâmetros de desempenho de módulos fotovoltaicos de tecnologias silício cristalino a telureto de cádmio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., Gramado, 2018. **Anais [...]** Gramado, 2018.

HICKEL, Bernardo Meyer.; *et al.* Análise da Influência do Acúmulo de Sujeira Sobre Diferentes Tecnologias de Módulos FV: **Revisão e Medições de Campo**. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belo Horizonte. 2016

IEC 62446-1:2016 - Sistemas fotovoltaicos (PV) - Requisitos para testes, documentação e manutenção - Parte 1: Sistemas conectados à rede - Documentação, testes de comissionamento e inspeção.

IEC 62446-2 - Sistemas fotovoltaicos (PV) - Requisitos para teste, documentação e manutenção - Parte 2: Sistemas conectados à rede (PV) - Manutenção de sistemas solares fotovoltaicos.

PINHO, João Tavares et al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB. 2014.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2005.



OSVALDO SILVA

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí (UFPI), Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela UFPI, Especialista em Gestão Ambiental pela Faculdade Internacional Signorelli e Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI). Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI).



A utilização da energia solar, para além de seus processos naturais, tem grande potencial para o Desenvolvimento Sustentável, sobretudo devido à alta disponibilidade do recurso solar, que no Brasil possui uma média diária superior ao de países líderes na utilização deste insumo, sobretudo os da Europa. No contexto nacional, a região nordeste possui a maior média de irradiação e menor variabilidade interanual, o que também pode ser constatado no estado do Piauí. Com médias diárias da irradiação solar nos municípios piauienses 4% maior que a média da região nordeste, comprova-se o grande potencial de utilização de tecnologias de energia solar no estado, o que justifica o desenvolvimento de ações de capacitação em todos os níveis de educação, voltados para este tema.

O Primeiro Curso de Especialização em Energia Solar do Piauí foi criado no dia 10 de março de 2020 na Universidade Federal do Piauí (UFPI), vinculado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, do Centro de Tecnologia da própria universidade. O curso foi coordenado pelos professores Marcos Lira e Albemerc Moraes, e contou ainda com a colaboração de outros professores mestres e doutores da própria UFPI e de outras instituições como: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia (CERNE), Instituto de Ensino Superior (ICEV) e Parksol Energia e Engenharia.

Este livro representa, portanto, a produção científica desta pós-graduação, de modo que são apresentados artigos elaborados pelos discentes, sob a orientação dos professores orientadores, que foram selecionados por critérios quantitativos e qualitativos. Trata-se, portanto, do primeiro volume de uma coletânea de artigos que visa contribuir cientificamente para a temática da Energia Solar e suas aplicações, estimulando a produção científica dos alunos e professores orientadores.

