

## **FERRAMENTA COMPUTACIONAL INTERATIVA DESTINADA AO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

**Erikson Pedro da Silva Nicacio<sup>1</sup>, João Teixeira de Carvalho Neto<sup>2</sup>, Fabio Augusto  
Procopio de Paiva<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Discente de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais - IFRN. Bolsista de mestrado do CNPq/IFRN; <sup>2</sup>Professor do Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais - IFRN; <sup>3</sup>Professor da área de Sistemas da Informação - IFRN. E-mail autor correspondente: eriksonpedro65ma@gmail.com

Área de conhecimento/Subárea: Multidisciplinar  
ODS vinculado(s): ODS 7

### **INTRODUÇÃO**

Considerando a perspectiva ambiental, referente à gestão sustentável dos recursos naturais para um desenvolvimento econômico em consonância com o enfrentamento às mudanças climáticas devido à ação antrópica, o interesse em pesquisas referentes à implementação das fontes renováveis para geração de energia está alinhado aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), presentes na Agenda 2030 instituída pela ONU (Imai et al., 2020). Instituída pela Organização das Nações Unidas, em 2015, a Agenda 2030 aborda 17 ODS's, onde, no contexto da exploração das fontes de energia renováveis, destaca-se o ODS 7 – energia limpa e acessível, a qual trata acerca do interesse nas pesquisas que visem a implementação sustentável das fontes renováveis para geração de energia, visando ainda o acesso confiável, sustentável, moderno e financeiramente acessível à energia para todos (ONU Brasil, c2024).

Dentre as tecnologias existentes para a geração de energia elétrica a partir da energia solar, destaca-se a tecnologia solar fotovoltaica, a qual, segundo Villalva (2020), possui um crescente uso em todo o mundo devido seu elevado potencial. De acordo com Villalva (2020), a energia solar pode ser aproveitada para a produção de eletricidade pelo efeito fotovoltaico, consistindo na conversão direta de luz solar em energia elétrica. Mesmo atualmente ainda é válido afirmar que, segundo Zhao, Wang e Zhang (2017), a tecnologia solar fotovoltaica é a mais desenvolvida para o aproveitamento direto da energia solar para geração de energia elétrica, o que corrobora crescente e acelerado desenvolvimento dessa tecnologia.

Na tecnologia solar fotovoltaica, a energia solar é diretamente transformada em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, onde o potencial energético da radiação solar é diretamente aproveitado através de sua incidência sobre a superfície de um conjunto células fotovoltaicas que compõem os módulos fotovoltaicos, de modo que neste processo não há a geração de ruído ou emissão de gases de efeito estufa, tais como o CO<sub>2</sub> (Kalogirou, 2017). Acrescido a isso, a longa vida útil do sistema, os custos decrescentes e a flexibilidade para implementação em residências corroboram para o interesse crescente por essa tecnologia (Xiao, 2017; Junta de Castilla y León, 2022).

Basicamente, existem dois tipos principais de sistemas fotovoltaicos, sendo eles os autônomos (off-grid) e os conectados à rede (on-grid) (Kalogirou, 2017). Considerando que o software a ser desenvolvido irá operar dimensionando sistemas fotovoltaicos conectados à rede, vale ressaltar alguns pontos deste tipo de sistema, com base nas literaturas que abordam essa

tecnologia. Sistemas fotovoltaicos *on-grid*, de acordo com as literaturas de Zilles *et al.* (2012), Kalogirou (2017) e Villalva (2020), são sistemas formados por módulos fotovoltaicos (gerador fotovoltaico), condutores, um inversor de frequência *on-grid*, dispositivos de proteção e a rede elétrica local, de modo que o gerador fotovoltaico gera energia em CC (corrente contínua) e o inversor transforma essa energia em CA (corrente alternada), injetando o excedente direto na rede elétrica. Sistemas *on-grid*, devido a configuração do inversor, operam apenas quando estão conectados a uma rede de energia estável e compatível com a forma de energia gerada pelo sistema, de modo que o inversor precisa receber a referência de tensão e frequência estáveis da rede para operar corretamente, ou seja, um sistema *on-grid* padrão é automaticamente desligado em caso de queda de energia na rede da concessionária, uma vez que, durante a queda, o inversor perde sua referência das características elétrica da rede (Kalogirou, 2017)

Segundo Villalva (2020), dentre os sistemas *on-grid* viáveis para instalação em residências, no contexto urbano, estão os sistemas de microgeração, caracterizados por uma menor potência instalada. Sistemas de microgeração fotovoltaica são pequenos sistemas que são instalados em locais onde o consumo de eletricidade é relativamente baixo (Villalva, 2020). Segundo a resolução normativa ANEEL nº 1059, o tipo de sistema descrito acima é uma central geradora de energia elétrica que utiliza uma fonte renovável conectada à rede de distribuição de energia elétrica por meio de uma unidade consumidora que possui potência instalada em corrente alternada menor ou igual a 75 kW.

A popularização dessa tecnologia corrobora para promover a geração distribuída de energia elétrica através de fontes renováveis, através da implantação de pontos de geração descentralizados próximos ou nos próprios locais de consumo (Villalva, 2020). Dessa forma, o conceito de geração distribuída surge como uma alternativa as grandes usinas geradoras, propondo a implementação de unidades geradoras descentralizadas, de modo que, ao considerar a geração distribuída no planejamento da expansão do setor energético, a operação dessas unidades geradoras é capaz de elevar gradativamente a oferta de energia, tornando desnecessária a demanda por grandes usinas geradoras (Zilles *et al.*, 2012). Com isso, através do uso sustentável da tecnologia fotovoltaica, a geração distribuída representa uma nova concepção de produção energética, contribuindo para a resolução e/ou redução de várias das dificuldades e problemáticas decorrentes da instalação dos grandes empreendimentos de geração, principalmente as relacionadas aos impactos ambientais decorrentes, corroborando para a melhora da qualidade ambiental, promovendo a geração sustentável de energia e aumentando a competitividade no mercado (Zilles *et al.*, 2012; Zhao, Wang; Zhang, 2017).

Os benefícios da geração distribuída fomentam a expansão da geração residencial de energia elétrica por meio da energia solar fotovoltaica, despertando o interesse de pesquisadores e profissionais com vistas a contribuir para elevar as perspectivas para um futuro em que a geração distribuída reduza ainda mais a demanda de produção por parte das concessionárias de energia elétrica (Zilles, 2012; Villalva, 2020). Com base nas literaturas de Zilles (2012), e Villalva (2020), dentre as etapas referentes ao desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos, o dimensionamento do sistema é uma etapa de extrema importância que antecede a instalação, pois são determinados todos os dados importantes relativos ao sistema.

Objetivando automatizar o dimensionamento, há ferramentas computacionais disponíveis atualmente no mercado. Todavia, para a maioria dessas ferramentas, faz-se necessário possuir um conhecimento mais técnico e aprofundado acerca de projetos fotovoltaicos, somado a isto o custo de aquisição e manutenção da ferramenta, o qual pode ser relativamente elevado. Como consequência, profissionais em formação e/ou recém-formados podem sentir dificuldades

relacionadas a aquisição e ao uso do software para desenvolver seus projetos fotovoltaicos, devido ao fato dessas ferramentas, geralmente, não contemplarem abordagens didáticas destinadas a este público.

Com base na relevância de uma ferramenta mais didática, o autor vem analisando a execução do dimensionamento de sistemas de microgeração fotovoltaica, objetivando o desenvolvimento de um algoritmo capaz de automatizar os procedimentos matemáticos, a ser disponibilizada gratuitamente para a comunidade acadêmica e acessível para profissionais. Dessa forma, o software é projetado tanto para fins educacionais como para aplicação prática de conhecimentos adquiridos na formação de profissionais integradores fotovoltaicos, servindo como uma ferramenta educacional eficaz no ambiente acadêmico, visando aprimorar a formação desses profissionais.

Por fim, como objetivo geral, pretende-se automatizar as etapas referentes ao dimensionamento de sistemas de microgeração fotovoltaica, de maneira didática, simplificada, eficaz e eficiente, com a finalidade de otimizar o processo de dimensionamento para usuários que não possuem um profundo conhecimento técnico e operacional, com vistas ainda a contribuir para a difusão da geração distribuída e, conseqüentemente, com o desenvolvimento sustentável.

## MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa, de acordo com Gil (2002), pode ser classificada como pesquisa aplicada e qualitativa, visto que objetiva o desenvolvimento de um software para automatizar, de forma didática, o processo de dimensionamento fotovoltaico, valendo-se de produções científicas, técnicas e acadêmicas acerca do processo descrito e como o mesmo pode ser automatizado através do desenvolvimento de uma ferramenta computacional, usando o montante de dados obtidos com os testes para validar o funcionamento do software. No que diz respeito aos procedimentos técnicos abordados, a presente investigação até momento adota a pesquisa Bibliográfica e Documental, uma vez que uma vez que serão utilizados, para fins de embasamento teórico, materiais que podem não terem recebido tratamento analítico.

Inicialmente, o pesquisador aprofundou-se acerca da teoria que envolve a energia solar fotovoltaica, objetivando aprofundar-se acerca do procedimento intrínseco ao dimensionamento de sistemas de microgeração fotovoltaica, visando compreender a melhor forma de integrá-lo a um algoritmo computacional. Ademais, as pesquisas também focaram no conceito de geração distribuída e os impactos positivos para o desenvolvimento sustentável atrelados a montagem de geradores descentralizados capazes de contribuir ativamente na matriz energética nacional, uma vez que o *software* em questão visa facilitar a compreensão acerca da montagem de microssistemas fotovoltaicos. Ademais, foram estudadas as linguagens destinadas ao desenvolvimento *web* (*HTML*, *CSS* e *JavaScript*), objetivando maior aprofundamento acerca dessas tecnologias e suas aplicações. Em relação ao desenvolvimento da ferramenta computacional proposta neste projeto, a IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) definida para o desenvolvimento dos algoritmos foi o *Visual Studio Code*.

Utilizando o *framework JavaScript Vue.js 3*, foi desenvolvida uma rotina de código inicial para o desenvolvimento da rotina que código referente aos procedimentos matemáticos inerentes ao pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico, juntamente com a interface gráfica geral da ferramenta, desenvolvida através da integração da linguagem *CSS*. Após testes iniciais com essa primeira versão do software, será desenvolvida o algoritmo com todas as funcionalidades pretendidas e maior aperfeiçoamento da interface gráfica de usuário. A validação da versão inicial da ferramenta ocorrerá através da comparação entre os dados obtidos

no *software* e dados de um dimensionamento “controle”, ou seja, dados já verificados com base nos modelos matemáticos adotados. Por fim, após os testes para validar o funcionamento do algoritmo, a ferramenta será aperfeiçoada visando finalizar o desenvolvimento da interface gráfica pretendida, de modo a cumprir o caráter didático proposto para a ferramenta.

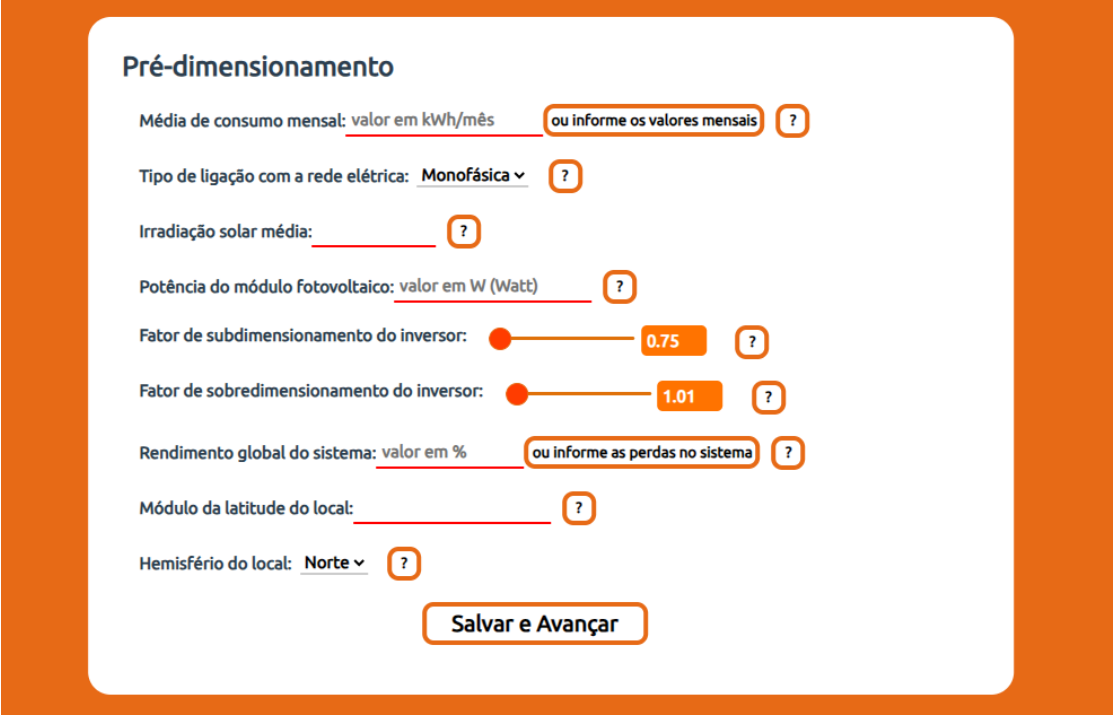
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o desenvolvimento da ferramenta computacional, foram analisados procedimentos matemáticos apresentados nas literaturas de Zilles et al. (2012), Moramed et al. (2024) e Alves (2022), a fim de determinar os modelos matemáticos a serem utilizados pela ferramenta para a correta execução dos cálculos para obtenção dos dados específicos necessários para o dimensionamento do tipo de sistema em questão.

Para o cálculo dos dados necessários para a instalação de sistemas de microgeração fotovoltaica, foram implementados os modelos matemáticos abordados por Alves (2022), uma vez que eles são mais direcionados para o dimensionamento de sistemas de microgeração fotovoltaica. Relativo as outras literaturas analisadas, observou-se que os procedimentos matemáticos descritos por Mahmoud *et al.* (2024) abordam conceitos específicos referentes à implementação da tecnologia fotovoltaica para essa o bombeamento de água. Ademais, relativo aos procedimentos matemáticos descritos por Zilles *et al.* (2012), pelo fato deles serem mais genéricos, eles foram considerados apenas para compreensão conceitual por parte do autor.

Dado o que foi descrito na metodologia, foi desenvolvido um algoritmo capaz de automatizar a etapa referente ao pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico, munido de uma interface gráfica de usuário (conforme visto, na Figura 1), permitindo ao usuário interagir com a ferramenta e fornecer os dados necessários para gerar os resultados referentes a essa etapa. A interface relativa à etapa do software inerente ao pré-dimensionamento pode ser visualizada através da Figura 1 a seguir.

**Figura 1** – Interface da ferramenta computacional desenvolvida.



**Pré-dimensionamento**

Média de consumo mensal: valor em kWh/mês  ou informe os valores mensais

Tipo de ligação com a rede elétrica: Monofásica

Irradiação solar média:

Potência do módulo fotovoltaico: valor em W (Watt)

Fator de subdimensionamento do inversor:  0.75

Fator de sobredimensionamento do inversor:  1.01

Rendimento global do sistema: valor em %  ou informe as perdas no sistema

Módulo da latitude do local:

Hemisfério do local: Norte

Fonte: autoria da equipe (2024).

A etapa referente ao pré-dimensionamento, na atual versão da ferramenta, solicita os dados relativos ao consumo de energia da unidade consumidora, permitindo ao usuário inserir diretamente a média de consumo mensal ou informar os valores relativos ao consumo de energia dos últimos 12 meses. Para determinar a quantidade de energia que o gerador fotovoltaico precisará gerar, a ferramenta também solicita que o usuário informe seu tipo de ligação com a rede elétrica. Esses dados podem ser facilmente identificados na conta de energia referente a unidade consumidora onde deseja-se instalar o sistema de microgeração fotovoltaica. Relativo aos dados solarimétricos, é solicitado o valor da irradiação solar média, podendo este dado ser encontrado através da ferramenta *SunData*, do CRESESB, através da inserção das coordenadas do local a ser analisado para instalação do sistema. Relativo aos dados dos componentes do sistema, a ferramenta solicita a potência nominal do módulo fotovoltaico utilizado, a fim de determinar a quantidade de módulos, potência total gerada e a faixa de potência para ser usada como referência para determinar a potência do inversor. Ademais, a ferramenta solicita o rendimento global do sistema, possibilitando ainda que o usuário referencie o percentual referente a cada perda individualmente. Relativo ao local analisado, a ferramenta também solicita dados referentes às coordenadas, os quais serão utilizados para determinar os dados referentes à inclinação e orientação dos módulos, sendo que esse procedimento ainda será incluído.

Por fim, a ferramenta disponibiliza um relatório com os dados técnicos obtidos através dos procedimentos matemáticos executados. A Tabela 1 a seguir apresenta os dados resultantes da ferramenta computacional desenvolvida.

**Tabela 1** – Interface da ferramenta computacional desenvolvida, IFRN, 2024.

Ordem	Resultados calculados pelo software	Determinação de valores intermediários
1	Quantidade média de energia que o sistema deve gerar mensalmente e diariamente.	Média de consumo mensal e rendimento global do sistema.
2	Valor referente às horas de sol pleno durante o dia (em condições “normais”)	
3	Potência que o sistema precisa fornecer	
4	Quantidade de módulos necessários	
5	Potência total que sistema fornecerá	
6	Faixa de potência para seleção do inversor	
7	Inclinação, orientação e área necessária para instalação do gerador fotovoltaico	

Fonte: autoria da equipe (2024).

### CONCLUSÕES

Espera-se concluir o desenvolvimento de uma ferramenta computacional capaz de realizar o dimensionamento completo de sistemas de microgeração fotovoltaica, disponibilizando ferramentas de auxílio teórico e conceitual para tornar a experiência do usuário mais didática, permitindo o entendimento de como deve ocorrer a inserção dos dados necessários em cada etapa do processo. O software deverá realizar o pré-dimensionamento, o dimensionamento das *strings*, dos condutores e dos dispositivos de proteção. Para isso, será continuado o uso das linguagens HTML, Javascript e CSS, visando disponibilizar a ferramenta de forma online através da sua hospedagem em um servidor. Por fim, com o êxito do projeto, pretende-se realizar o registro do software.



## REFERÊNCIAS

ALVES, Dennys Lopes. Apostila de Introdução ao Dimensionamento de Sistemas de Geração Solar Fotovoltaica. 2022 (Apostila).

ANEEL (2023). Resolução Normativa nº 1059, de 7 de fevereiro de 2023. Agência Nacional de Energia Elétrica, Rio de Janeiro.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

IMAI, H. E. *et al.* **Simulação computacional como ferramenta de otimização na geração de energia solar fotovoltaica**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.e20190343>. Acesso em: 02 abr. 2024.

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. **Manual del instalador - Energía solar fotovoltaica**. Castela e Leão: Junta de Castela e Leão, 2022. 122p.

KALOGIROU, S. A. **McEvoy's Handbook off Photovoltaics: fundamentals and Applications**. 3. ed. [s.l]: Academic Press, 2017. 1340 p.

MAHMOUD, I. M. *et al.* **Pre-sizing online tool for photovoltaic water pumping system: development, testing, validation, and evaluation**. Discover Sustainability. v. 5, 2024. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85185484265&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=9e0b52f13aac317b7279ccb8676584cb&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Pre%E2%80%91sizing+online+tool+for+photovoltaic+water+pumping+system%3A++development%2C+testing%2C+validation%2C+and+evaluation%29&sl=126&sessionSe archId=9e0b52f13aac317b7279ccb8676584cb&relpos=0>. Acesso em 10 abr. 2024.

ONU. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília: ONU. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 16 abr. 2024.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Érica, 2020. 224 p.

XIAO, E. **Photovoltaic Power System: Modeling, Design, and Control**. [s.l]: Wiley, 2017. 400 p.

ZHAO, B.; WANG, C.; ZHANG, X. **Grid-Integrated and Standalone Photovoltaic Distributed Generation Systems: Analysis, Design, and Control**. [s.l]: Wiley, 2017. 330 p.

ZILLES, R. *et al.* **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 208 p.