

METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM HABITAÇÕES POPULARES

Franciele de Libero Espírito Santo¹
Carmen Luísa Barbosa Guedes¹
Juliani Chico Piai Paiva¹

¹Universidade Estadual de Londrina

DOI: 10.47168/rbe.v29i4.815

RESUMO

A busca pela eficiência energética, tanto no uso final, quanto na geração de energia elétrica, tem sido impulsionada em todo o mundo. No Brasil, desde 2007, a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU) decidiu consolidar sua posição, não só como produtora de Habitação de Interesse Social (HIS), mas como uma agente promotora de sustentabilidade do setor construtivo no estado de São Paulo. Pensando a energia elétrica, a primeira iniciativa foi a instalação de Sistemas de Aquecedores Solares (SAS) de água para o uso do chuveiro. O segundo passo consistiria na implementação de painéis fotovoltaicos para gerar eletricidade no local. Dessa forma, as HIS se tornariam menos dependentes da eletricidade da rede de distribuição, elevando a qualidade de vida das famílias através da redução das despesas. Sendo assim, o presente trabalho propõe uma metodologia de avaliação da viabilidade técnica e econômica para a instalação associada de painéis fotovoltaicos e aquecimento solar de água em habitações populares já construídas. Para isso, foi realizado um estudo de caso em um conjunto habitacional, localizado na cidade de Adamantina - São Paulo. O resultado obtido foi positivo, indicando que não são necessárias adequações construtivas e a Taxa de Retorno do Investimento (TIR) é maior que o custo de oportunidade de um investimento em renda fixa. Além disso, a metodologia desenvolvida para a avaliação de viabilidade pode ser replicada em diferentes empreendimentos e, se verificada a praticabilidade de implantação da geração fotovoltaica, associada as medidas de eficiência energética já regulamentadas, será um avanço na garantia dos direitos sociais das famílias de baixa renda.

Palavras-chave: Geração Distribuída; Habitação de interesse social; Baixa renda; Viabilidade econômica.

ABSTRACT

The search for energy efficiency, both in end use and in the generation of electrical energy, has been promoted throughout the world. In Brazil, since 2007, the Housing and Urban Development Company (CDHU) decided to consolidate its position, not only as a producer of Social Interest Housing (HIS), but as an agent promoting sustainability in the construction sector in the state of São Paulo. Thinking about electrical energy, the first initiative was the installation of Solar Water Heater Systems (SAS) for water use in the shower. The second step would consist of implementing photovoltaic panels to generate electricity on site. In this way, HIS would become less dependent on electricity from the distribution network, increasing families' quality of life by reducing expenses. Therefore, the present work proposes a methodology for evaluating the technical and economic feasibility for the associated installation of photovoltaic panels and solar water heating in popular housing already built. For this, a case study was carried out in a housing complex, located in the city of Adamantina - São Paulo. The result obtained was positive, indicating that no constructive adjustments are necessary and the Investment Return Rate (IRR) is greater than the opportunity cost of an investment with pre determined income. Furthermore, the methodology developed to assess viability can be replicated in different projects and, if the feasibility of implementing photovoltaic generation is verified, associated with already regulated energy efficiency measures, it will be a step forward in guaranteeing the social rights of low-income families. income.

Keywords: Distributed Generation; Social Interest Housing; Low Income; Economic Viability.

1. INTRODUÇÃO

Considerando o aumento das atividades sociais e econômicas em todo o mundo, a demanda por energia elétrica está em constante crescimento (SAMPAIO, 2017). Para atender tal demanda, as alternativas energéticas renováveis têm se tornado o foco de muitas pesquisas na busca pelo desenvolvimento sustentável (SILVA; SHAYANI; DE OLIVEIRA, 2018).

Neste caminho, nos últimos anos a energia solar fotovoltaica tem apresentado um crescimento significativo no Brasil (PEREIRA, 2019). Devido à sua localização geográfica privilegiada, o Brasil apresenta um vasto potencial para a produção de eletricidade por meio da luz solar, com uma incidência significativa de radiação solar em todo o seu território (MORAIS et al., 2021). Além disso, existem programas de incentivo, com diversas políticas públicas e iniciativas para estimular a produção e o consumo da energia fotovoltaica, entre elas destacam-

se os leilões de energia renovável (DIAS et al., 2017).

A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) divulgou que, em 2023, o Brasil atingiu um marco significativo ao atingir uma capacidade instalada de 26 gigawatts em energia solar fotovoltaica, equivalente a cerca de 11,6% da produção total de energia elétrica do país. A expectativa é que esta capacidade aumente no futuro, como resultado de novos investimentos e iniciativas políticas (RÖNNAU, 2023). O mercado de geração distribuída é um dos responsáveis por esse crescimento. Nele, os consumidores de baixa tensão instalam painéis solares em suas propriedades para gerar energia e reduzir seus custos com eletricidade. Esse mercado tem se expandido rapidamente nos últimos anos, impulsionado pela queda dos preços dos equipamentos e pelo aumento das tarifas de energia elétrica.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) desde 2012 tem fomentado a implementação da energia solar fotovoltaica no Brasil, definindo diretrizes gerais para a microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica (TELES, 2015). Com base na resolução, os consumidores poderiam gerar energia elétrica e fornecer o excedente para a rede local, compensando o uso nos horários em que a geração não consegue atender a demanda da edificação.

Em novembro de 2015, a discussão em torno da REN nº 482 foi retomada com a publicação da REN nº 687. Uma nova intervenção visava simplificar o processo de conexão e ampliar o público-alvo abrangido pela REN nº 482. Além disso, em 18 de agosto de 2021, a Câmara dos Deputados aprovou o Projeto de Lei nº 5.829 de 2019, buscando revisar vários critérios atuais para projetos de micro e minigeração distribuída. O objetivo principal desse projeto era garantir a segurança jurídica e promover o desenvolvimento desse tipo de geração no cenário brasileiro, com destaque para a reforma do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Por fim, em 2022 foi formalizado o Marco Legal da Geração Distribuída, por meio da Lei nº 14.300 (SCHULTZ, 2021). Dentre outras características, ela estabelece uma fase transitória para a cobrança de tarifas de microgeradores e minigeradores pelo uso do sistema de distribuição garantindo que, até 2045, os geradores já existentes pagarão apenas tarifas com base na diferença entre o que é consumido e o que é produzido e injetado na rede de distribuição.

Com a regulamentação do setor, o uso da energia solar passou a ser incentivado também nas Habitações de Interesse Social (HIS) no Brasil. Primeiramente, através do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), criado em julho de 2009, foram estimulados os projetos incluindo sistemas de energia solar térmica, preferencialmente nas regiões sul, sudeste e centro-oeste (MAIA; LIMA; DE CARVALHO GOMES, 2019). Considerada uma experiência de sucesso pelo Governo Federal, a implantação do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) tor-

nou-se obrigatória no ano de 2011, na segunda fase do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV2), para as unidades urbanas unifamiliares em todo o Brasil (GALAN, 2016). Na sua terceira fase, em 2017, o programa tornou obrigatórias as medidas para reduzir o consumo de energia elétrica em residências de um só pavimento nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, através de energia solar, tanto por meio de SAS quanto de Sistemas Fotovoltaicos (SFV). No ano de 2020, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) foi substituído pelo Programa Casa Verde e Amarela. Este novo programa tem como objetivo não apenas construir e financiar unidades habitacionais, mas também desempenhar um papel na regularização fundiária e na melhoria de residências e apartamentos já edificadas (LOPES, 2021). Conforme previsto na Portaria nº 959 de 18 de maio de 2021 do Ministro de Estado do Desenvolvimento Regional, a implantação de sistemas individuais de geração de energia elétrica fotovoltaica em unidades habitacionais de interesse social tornou-se obrigatória. No ano de 2023, com a reintrodução do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), foram formuladas novas diretrizes que abrangem famílias com renda total não superior a R\$ 2.640, possibilitando que um número maior de pessoas tenha acesso à casa própria (anteriormente, o limite de renda familiar era de R\$ 1.800) (ESCOSTEGUY et al., 2023).

Diante do exposto, o presente artigo propõe uma metodologia de avaliação da viabilidade de implantação de sistema fotovoltaico (SFV) nas Habitações de Interesse Social já construídas, uma vez que a nova fase do PMCMV possibilita a aquisição de imóveis usados. A estrutura do trabalho inicia-se com a análise de um estudo de caso conduzido em um empreendimento habitacional localizado na cidade de Adamantina, no estado de São Paulo. Esta etapa foi imprescindível para que se pudesse estabelecer um padrão de consumo de energia elétrica típico das famílias de baixa renda. Com isso, foi possível projetar um sistema fotovoltaico de referência. Na sequência, foi relatada a análise técnica que se concentra nas características construtivas, seguida pela análise econômica que se baseia no retorno do investimento. Por fim, é apresentado o método replicável de avaliação de implantação de SFV. Ressalta-se que a discussão desse tema transcende as esferas de combate ao déficit habitacional e de diversificação da matriz energética, representando um avanço em direção à garantia da inclusão social e dos direitos sociais das famílias.

2. ESTUDO DE CASO

Para a elaboração da metodologia foram realizados estudos de campo. Esta etapa é importante para o estabelecimento de critérios essenciais como faixa de consumo médio de energia elétrica é característica construtivas das edificações. Com base nas informações obti-

das, dimensionou-se um sistema fotovoltaico que atendesse a demanda da HIS, e o impacto desta nova instalação foi pensado em relação a edificação.

O estudo foi realizado em um conjunto habitacional denominado Adamantina O, localizado no bairro Parque Residencial Itamarati, município de Adamantina-São Paulo. Conforme informações do IBGE, o município abrange uma extensão de mais de 411.987 quilômetros quadrados e suas coordenadas geográficas são: 21° 40' 32" Sul, 51° 3' 47" Oeste. A população projetada em 2020 era de 35.111 pessoas, com densidade populacional de 85 pessoas por quilômetro quadrado (IBGE 2020). Trata-se de um empreendimento de 45 casas, com uma área construída de 48,81 m² por unidade. As unidades também respeitam e incorporam melhorias de qualidade no setor habitacional, como piso cerâmico em todos os cômodos, azulejos nas paredes hidráulicas, hidrômetros individuais, infraestrutura completa para acessibilidade e água quente solar para banho.

A obtenção de dados foi efetuada mediante consultas à Prefeitura do município e coleta de informações em campo. Foi obtido o processo de aprovação de projeto e o manual que é entregue ao proprietário com informações de plantas de arquitetura, hidráulica, elétrica e estrutural, memorial descritivo e cálculo, e o posicionamento do aquecedor de água solar. Além disso, para o projeto do Sistema de Geração Fotovoltaica (SFV), o consumo médio de energia elétrica das famílias é uma variável relevante. Por isso, foram visitadas as 42 residências já habitadas, dentre as 45 que formam o conjunto todo. Todas as famílias disponibilizaram sua fatura de energia, possibilitando o levantamento do histórico de consumo entre os meses de outubro de 2020 e maio de 2021. Tais informações foram organizadas em uma planilha eletrônica e foi calculada a média de consumo mês a mês pelo período de oito meses, conforme a Figura 1.



Figura 1 - Consumo mensal médio de energia elétrica das famílias de baixa renda

Na sequência, foram obtidas as figuras de mérito para a amostra, conforme a Tabela 1. A média geral, arredondada para 150 kWh/mês, se mostrou mais próxima da realidade e, portanto, foi adotada como referência para o projeto de geração fotovoltaica.

Tabela 1 – Dados estatísticos da amostra do consumo de energia elétrica

Figuras de Mérito	Consumo kWh
Média	148
Moda	169
Mediana	144
Desvio Padrão	52

2.1 Projeto fotovoltaico

Considerando o consumo médio mensal de 150 kWh, foi realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico pelo método analítico, e confirmado pelo software PV*SOL Premium®. Considerando que a ligação da Habitação de Interesse Social (HIS) ao sistema de distribuição seja monofásica, o Custo de Disponibilidade da rede está previsto em 30 kWh/mês. Nesse contexto, para minimizar a fatura de energia da HIS até seu valor mínimo, o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) deve produzir cerca de 120 kWh/mês.

A abordagem analítica segue os procedimentos de avaliação do potencial solar no local de implementação do sistema, considerando a temperatura ambiente e as características elétricas de painéis fotovoltaicos e inversores adequados ao projeto. Nesse sentido, foram adquiridas informações sobre a incidência solar na área de instalação, assim como a orientação e a superfície disponível no telhado. As informações sobre a radiação solar foram obtidas a partir do banco de dados do Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). Os telhados estão geograficamente orientados para norte e sul, por isso foram consideradas as faces dos telhados voltadas para norte, a fim de maximizar a produção média diária de energia. Inseridas as coordenadas geográficas da cidade de Adamantina na plataforma CRESESB, foram obtidos os dados históricos de irradiação solar mensal em kWh/m²/dia, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Histórico de irradiação solar da cidade de Adamantina-SP

Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² /dia]													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
0° N	5,95	5,94	5,48	4,87	4,00	3,67	3,88	4,83	4,89	5,57	6,06	6,35	5,13	2,68
22 ° N	5,38	5,66	5,63	5,51	4,91	4,71	4,89	5,70	5,19	5,43	5,54	5,64	5,35	0,98
20 ° N	5,45	5,71	5,64	5,47	4,85	4,64	4,82	5,64	5,18	5,46	5,61	5,72	5,35	1,08
31 ° N	5,00	5,38	5,51	5,59	5,13	4,99	5,15	5,86	5,15	5,21	5,18	5,20	5,28	0,88

Os dados de irradiação obtidos na plataforma CRESESB são posteriormente utilizados na Equação 1 para calcular as Horas de Sol Pleno (HSP). Esse projeto é realizado pela divisão do valor de Irradiação Solar Média (ISM) do local pela constante de Irradiância (CEPEL, 2021).

$$HSP \text{ ma } (h) = \frac{5350 \text{ W h/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 5,35h \quad (1)$$

Para calcular a demanda diária média a ser atendida, basta dividir o consumo médio mensal de 120 kWh/mês por 30 dias, resultando em E(kWh/dia) igual a 4 kWh/dia. A potência a ser gerada por um Sistema Fotovoltaico (SFV) pode ser determinada pela Equação 2, na qual o numerador representa a demanda diária média a ser atendida, e o denominador é o produto entre a média diária anual das Horas de Sol Pleno incidentes no local e eficiência total do SFV.

$$PFV (Wp) = \frac{4000 \text{ W h/dia}}{5,35 \text{ h} * 0,70} \cong 1066,10 \text{ Wp}. \quad (2)$$

Considerando a potência total a ser gerada de 1066,10 Wp, foram escolhidos módulos fotovoltaicos que atendessem ao projeto. O modelo DAH DHM72L9-450W/BF, do fabricante DAH Solar, foi selecionado. Ele se apresenta como uma opção viável por ser de silício monocristalino, eficiência de 90% e possuir certificações nacionais e internacionais. Além disso, a empresa detém uma posição consolidada no mercado brasileiro e oferece uma garantia de 12 anos para o produto. Levando em conta a potência nominal do painel comercial selecionado, que é de 450 Wp, é preciso utilizar quatro módulos para alcançar uma potência nominal total de 1800 Wp com o sistema.

Após definir a quantidade e potência dos painéis fotovoltaicos, assim como a potência nominal total do sistema, a etapa seguinte en-

volve o dimensionamento do inversor. Este dispositivo não apenas converte corrente contínua em corrente alternada, mas também desempenha um papel crucial na interação com um distribuidor local, garantindo sincronismo, proteção e monitoramento da energia gerada. Existem diferentes classificações de inversores utilizados em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR), considerando o porte e o posicionamento em relação aos arranjos fotovoltaicos (PINHO; GALDINO, 2014). Além disso, a potência do inversor deve ser igual ou superior à potência total do gerador. Nesse contexto, o modelo escolhido é o DEYE SUN200G3-US-220M-WI-FI, fabricado pela Deye. O equipamento é capaz de monitorar remotamente a geração de energia, resiste a condições climáticas adversas e tem uma durabilidade prevista de 25 anos (LOPES, 2021).

Para validar o cálculo efetuado, foi realizada uma simulação no *software* comercial PV*SOL Premium®. O *software* é amplamente reconhecido em todo o mundo por criar projetos de sistemas fotovoltaicos utilizando cenas 3D baseadas em mapas de satélite ou dados importados de drones. Além disso, as simulações utilizaram informações climáticas precisas e planejadas. A Figura 2 ilustra a simulação da projeção solar sobre os módulos fotovoltaicos.

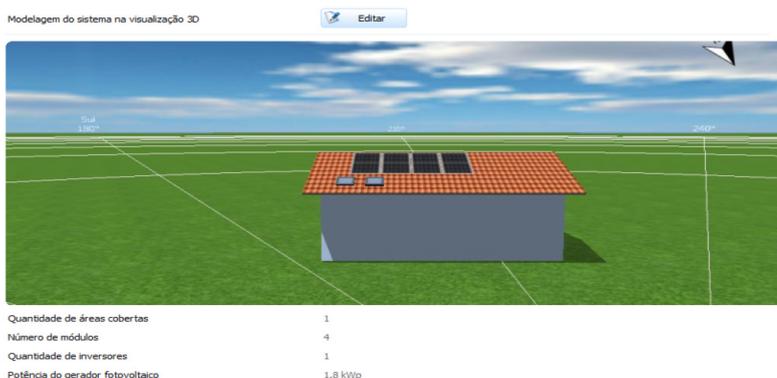


Figura 2 - Simulação do sistema solar fotovoltaico

Observa-se que os resultados obtidos com o *software* e com o método analítico foram os mesmos: quatro módulos fotovoltaicos do modelo escolhido. A Tabela 3 fornece uma descrição detalhada das características do sistema fotovoltaico.

Tabela 3 – Resumo das características do sistema fotovoltaico

Potência do sistema dimensionado	1,80 kWp
Energia estimada a ser gerada	226 kWh/mês
Área útil necessária para a instalação	10,53 m ²
Geração estimada por ano	2708 kWh/ano
Consumo	1800 kWh/ano

A Figura 3 apresenta o balanço energético do sistema, com os valores de geração de energia disponibilizado através do *software*. Observa-se que a geração de energia elétrica em todos os meses deve ser maior que o planejado, de 120 kWh, podendo atender futuras demandas dos moradores. Esse aumento também previne a falta de manutenção nos painéis que pode implicar queda na capacidade de geração.

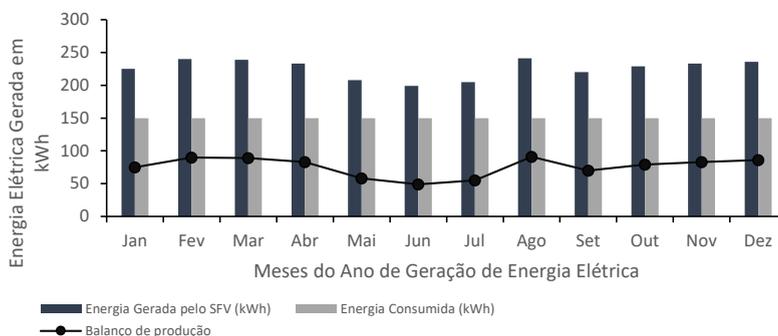


Figura 3 - Previsão do balanço geração e consumo, com sistema fotovoltaico

3. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA CONSTRUTIVA

A Portaria nº 660 do Ministério das Cidades estipula as diretrizes para o desenvolvimento de projetos e estabelece as especificações técnicas mínimas de cada unidade habitacional no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Essas especificações abrangem desde a quantidade de Unidades Habitacionais (UH) em conjuntos habitacionais, até os requisitos para a determinação dos terrenos e suas integrações com os sistemas urbanos circundantes. Além disso, a portaria define aspectos inovadores, como a distribuição interna dos espaços e a quantidade mínima de cômodos, bem como

requisitos para o sistema elétrico, incluindo a quantidade de pontos de energia e iluminação, em conformidade com as normas de Desempenho de Edificações Habitacionais.

De acordo com o Memorial Descritivo, disponibilizado pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do estado de São Paulo (CDHU), a fundação das residências é do tipo radier, conforme demonstra a Tabela 4.

Tabela 4 – Memorial descritivo com as especificações da fundação

Fundação		
1	Tipo de fundação	<p>A fundação tipo radier será realizada no terreno compactado.</p> <p>A concretagem (concreto fck \geq 25 MPa) será feita após a execução dos sistemas elétricos, hidráulicos e sanitários.</p> <p>Há duas opções de fundação em radier, uma para solo colapsível, com espessura de 12 cm, e outra para solo não colapsível, com espessura de 10 cm; ambas serão armadas com tela Q-61 (CA-60), com reforço de armadura em uma faixa de 61 cm de largura sob as paredes, reforço de espessura nas bordas e serão executadas com lastro de brita, com altura de 5 cm sobre lona plástica preta com 1,5 micra.</p> <p>Haverá um rebaixo no radier, com altura de 30 cm, onde está localizado o banheiro e será preenchido com tijolo baiano.</p> <p>A calçada perimétrica está incorporada ao radier e terá caimento de 2% para o exterior. A cota do piso interno acabado ficará 5 cm acima da cota da calçada externa.</p> <p>Todas as etapas, bem como as especificações dos materiais a serem utilizados, serão executadas conforme detalhes constantes no projeto de fundação.</p>

O sistema de estrutura adotado é composto de alvenaria estrutural e laje do tipo mista-pré, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Memorial descritivo com as especificações de alvenaria

Estrutura Convencional		
1	Tipo de estrutura e principais características	<p>O sistema de estrutura adotado é composto de alvenaria estrutural e laje do tipo mista-pré, conforme especificação do fabricante e de acordo com o projeto estrutural, utilizando vergalhões CA50 e tela CA60 (concreto a definir com o fornecedor da laje).</p> <p>O escoramento da laje será em pontalete de madeira de pinho, eucalipto ou escora metálica.</p>

Tabela 5 – Memorial descritivo com as especificações de alvenaria (cont.)

Alvenaria Estrutural			
1	Blocos	Tipo de bloco	Bloco estrutural de concreto ou cerâmico, com resistência mínima de $f_{bk}=3,0$ MPa
		Dimensões reais (L x H x C) em cm	14 x 19 x 39 cm e família; 14 x 19 x 34 cm e família.
2	Argamassa e graute	Atenderão ao Projeto Estrutural e a norma ABNT.	

Para cobertura utilizou-se estrutura em aço, com telha cerâmica, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Memorial descritivo com as especificações de cobertura

Cobertura		
1	Estrutura	Estrutura em aço composta de pontalotes, vigas, terças, caibros, ripas e terças de sustentação, travamentos, banzos e com arremates de acabamentos em tabeiras laterais e testeiras frontais. As peças atenderão às especificações do projeto.
2	Fixação e apoio da estrutura na edificação	A estrutura em aço será apoiada e fixada em pontalotes metálicos estruturais devidamente fixados na laje de cobertura e nos oitões. A estrutura metálica será apoiada em terças de sustentação e será toda parafusada, não sendo admitido qualquer tipo de solda na obra.
3	Tipo de telha	Telha cerâmica, tipo mediterrânea, com inclinação de acordo com o projeto.
4	Tipo de condutores	Serão utilizados rufos e arremates metálicos.

A análise de viabilidade técnica está baseada nos três critérios apresentados na metodologia para definir se a edificação pode receber o SFV: alvenaria e estrutura, cobertura e fundação.

Com base no Memorial de Cálculo Estrutural fornecido pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU), o carregamento vertical sobre as paredes é proveniente apenas da laje e telhado, pois a residência possui apenas um pavimento térreo. Neste

caso, a laje será do tipo mista-pré, com a altura da laje de 10 cm. As cargas permanentes a serem levadas em consideração incluem o peso próprio da laje sobre as paredes, sendo calculada multiplicando o peso específico do concreto conforme a NBR 6120:2019 (25 kN/m^3) pela espessura da laje de 10 cm. A carga permanente de telhas cerâmicas, de acordo com a NBR 6120: 2019, é de $0,6 \text{ kN/m}^2$. O peso próprio da parede também foi contemplado, sendo calculado multiplicando a altura da parede pelo peso específico do bloco cerâmico vazado de 12 kN/m^3 (conforme a NBR 16868:2020) e pela espessura do bloco de 14 cm. Além disso, foi levado em consideração o graute da cinta de amarração.

No que diz respeito à carga acidental, optou-se por uma carga de $0,1 \text{ kN/m}^2$ para o forro, considerando sua acessibilidade para manutenção e a ausência de estoque de materiais. Note-se que, devido à natureza de ser uma residência popular de apenas um pavimento, as cargas aplicadas são relativamente baixas, predominantemente provenientes da laje de cobertura e do telhado. Quanto ao bloco com resistência à extensão de 3 MPa utilizado, sua resistência é significativamente superior à demanda, sendo mais do que suficiente para suportar as forças compressivas solicitadas.

Além disso, as telhas cerâmicas utilizadas na cobertura, estando sob dois apoios, podem suportar uma carga mínima de 70 kg (peso médio de um homem). Sendo assim, dependendo do tamanho do SFV a ser instalado, não haverá problemas na cobertura. Por tudo, analisar as características construtivas da edificação é de suma importância para garantir a viabilidade de implantação de um SFV, especialmente quando a instalação do sistema inclui muitas placas. No caso em estudo, são somente quatro módulos com peso médio de 20 kg, totalizando 80 kg. Por isso, não há comprometimento da estrutura elaborada e nem a necessidade de reformas ou adequações.

4. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA – FINANCEIRA

O primeiro ponto a ser abordado refere-se à sistematização das informações dos custos de implementação do projeto fotovoltaico. O valor total do investimento necessário para implementar o sistema foi determinado por meio de uma pesquisa de mercado. Foram levados em conta os custos dos painéis solares, cabos, inversor, sistema de proteção corrente contínua e as estruturas para suporte de fixação dos painéis, conforme indicado na Tabela 7.

É importante ressaltar que a área necessária para disposição dos painéis é de $8,10 \text{ m}^2$. Por isso, o módulo fotovoltaico escolhido é em silício monocristalino, mais eficiente em áreas com menor disponibilidade de espaço para a instalação.

Tabela 7 – Custo total de projeto do sistema solar fotovoltaico.

Material
04 Módulos Dah Dh7219-450w/Bf
01 Micro Inversor Deye Sun2000g3-Us-220 M/Wi-Fi
01 Kit Fixação Fibromadeira 04 Módulos
Instalação, Engenharia e Homologação
TOTAL: R\$ 9.840,68

A segunda variável para determinação da economia gerada pelo SFCR diz respeito à tarifa de energia da distribuidora local. No caso em análise, o valor da tarifa de energia pode ser encontrado no site da Energisa e é de R\$ 0,79 por kWh, incluindo os impostos correspondentes (ENERGISA, 2021). O aumento médio anual na tarifa de energia elétrica pela entrega da concessionária Energisa foi calculado com base nos reajustes realizados nos últimos anos, resultando em uma média de 28% ao ano (ACENDE BRASIL, 2020).

O IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) considerado foi de 4,40% ao ano e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para analisar a viabilidade deste investimento foi definida com base na média anual da taxa de rendimento da poupança, no valor de 4,35% ao ano (SOLDERA; KÜHN, 2018). A Tabela 8, mostra os parâmetros considerados para equacionar a viabilidade econômica.

Tabela 8 – Parâmetros utilizados para o método do fluxo de caixa

Parâmetros	Valor
Custo do sistema fotovoltaico	R\$ 9840,68
Tarifa de energia elétrica	0,79 kWh
Custo de disponibilidade do sistema	R\$ 600/ano
Reajuste tarifário	28% ao ano
Vida útil	25 anos
Custo de oportunidade TMA	4,35% ao ano
IPCA	4,40% ao ano

Os resultados obtidos para os indicadores econômicos estão apresentados na Tabela 9. Ao analisar os resultados pode-se concluir que o sistema de microgeração fotovoltaico proposto é economicamente viável por ambos os métodos de análise. Tanto o Valor Presente Líquido (VPL) quanto a Taxa Interna de Retorno (TIR) do sistema apresentam valores negativos apenas nos três primeiros anos de operação. Após esse período, a economia nas faturas de energia elétrica,

combinada com o aumento da tarifa, faz com que o VPL se torne rapidamente positivo e o TIR do sistema ultrapasse o custo de oportunidade de um investimento em renda poupança.

Tabela 9 – Resultados da análise de viabilidade econômico-financeira

Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 28.205,90
Taxa Interna de Retorno (TIR)	48,28% ao ano
Retorno do Investimento (<i>Payback</i>)	04 anos

De acordo com o fluxo de caixa anual resultante, fluxo de caixa descontado e acumulado pelo sistema, pode-se ter uma análise econômica prévia à instalação do sistema indicando que o sistema estará pago em quatro anos, conforme demonstra a Figura 4.



Figura 4 - Demonstrativo do retorno do investimento

Este é o resultado para uma única casa. Entretanto, se o investimento for pensado como uma proposta para o conjunto habitacional, ou seja, 45 casas, fazendo parte da política pública de habitação o investimento passa a ser de R\$ 442.830,60. De acordo com a planilha orçamentária disponibilizada pela CDHU o custo total da obra foi de R\$ 4.383.170,92, neste caso, o impacto da instalação de sistema fotovoltaico no empreendimento corresponderia a aproximadamente 10% do custo total previsto.

5. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM HIS

Considerando cada uma das etapas avaliadas neste artigo, foi possível desenvolver um método que tem por objetivo descrever todas as etapas essenciais para a elaboração de um projeto de sistema fotovoltaico conectado à rede em habitações de interesse social, podendo assim ser replicada em empreendimentos semelhantes. O passo a

passo da metodologia é apresentado de forma descritiva abaixo, e também em tópicos, conforme Tabela 10.

1 - Levantamento e Tratamento de Dados: identificar o consumo médio mensal (kWh) de cada HIS através das faturas de energia elétrica, ou utilizar os 150 kWh obtidos no estudo de caso aqui apresentado se a edificação for semelhante.

Além disso, é imprescindível identificar as áreas dos telhados onde os módulos possam ser fixados, a distância entre o sistema instalado e quadro geral de distribuição da unidade consumidora, assim como os ângulos azimutais e de inclinação dos telhados, de tal forma que se possa extrair o melhor aproveitamento da radiação solar.

Os dados geográficos e climáticos das HIS, as coordenadas de localização e a Irradiação Solar Média são também de extrema importância para a elaboração do projeto fotovoltaico.

Ainda, deve-se conhecer as características construtivas da habitação, especialmente o tipo de fundação, alvenaria e estrutura, e a cobertura, bem como as cargas suportadas por estes elementos.

2 - Projeto Fotovoltaico: dimensionar o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com base nas normas técnicas é fundamental. Para realizar esse processo, é preciso primeiro calcular a Irradiação Solar Média no Local e, em seguida, as Horas de Sol Pleno. Com essas informações, e conhecendo ou estimando o consumo alvo em kWh, é possível determinar a Potência Total necessária para atender à demanda. É importante ressaltar que o rendimento considerado nesse cálculo pode variar de 70% a 80%.

Neste momento, é importante realizar uma pesquisa de mercado para verificar os módulos disponíveis, características elétricas e preço. Os módulos mais prevalentes no mercado são os de silício monocristalino e policristalino. É crucial observar que os módulos monocristalinos são mais eficientes, pois geram a mesma quantidade de energia elétrica ocupando uma área menor.

Conhecendo a Potência Total do sistema, pode-se escolher o melhor módulo comercializado para atender aquela necessidade e, com a potência de cada módulo, estimar a quantidade de módulos necessários.

Na sequência devem ser definidos os inversores. O principal critério nesta etapa é garantir que a tensão de saída do sistema fotovoltaico seja o mais próxima possível da tensão de operação do inversor, admitindo-se variação para menos.

3 - Viabilidade Técnica Construtiva: considerando o investimento alto a ser realizado em um SFV, a estrutura da edificação deve ser avaliada sob o ponto de vista da carga extra que será adicionada à

cobertura. Nesta etapa, é importante identificar a técnica de fundação, alvenaria e estrutura, e cobertura da HIS, incluindo as telhas. Além disso, deve-se verificar qual foi a carga acidental planejada para a edificação.

Conhecendo a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para atender a demanda planejada, e o peso de cada um deles, é possível verificar se a carga extra adicionada poderá impactar a edificação, se são necessários reforços ou reformas, ou se a instalação pode prosseguir de forma segura, sem nenhum ajuste.

4 - Viabilidade Econômica – Financeira: tendo determinado o SFVCR que irá atender a habitação, definidos os módulos e o inversor, é possível estimar o custo de implantação do sistema. Neste momento é importante também determinar os custos de reforma e/ou reforços na edificação, se necessário.

Os custos de manutenção são geralmente insignificantes em instalações desse tipo, pois tendem a ser mínimos. Na maioria dos casos, limitam-se apenas à limpeza dos módulos.

Com base na tarifa de energia elétrica local, reajustes tarifários anuais e a capacidade de geração do SFVCR, pode-se estimar a economia proporcionada pelo sistema fotovoltaico.

Além disso, é necessário calcular os indicadores econômicos para confirmar as previsões. Os indicadores escolhidos neste estudo foram a Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e o Retorno do Investimento (Payback).

Por fim, é possível calcular qual seria o acréscimo financeiro ao empreendimento como um todo se o SFV fosse implantado nas habitações. Para isso, basta multiplicar o custo de uma casa pelo número de casas do conjunto habitacional e, conhecendo o custo total da obra, estimar quanto a inserção da geração distribuída iria onerar. Desta forma, é possível verificar se a implantação do sistema é interessante ou não para o empreendimento em análise.

Tabela 10 – Método para a analisar a viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico

Levantamento de dados
<ul style="list-style-type: none"> • Identificar o Consumo Médio Mensal (kWh) de cada HIS através das faturas de energia elétrica. Caso o empreendimento ainda não tenha sido habitado, é possível estimar o consumo (linha base) através de simuladores de consumo das concessionárias de energia elétrica. • Identificar as áreas dos telhados onde os módulos possam ser fixados, a distância entre o sistema instalado e quadro geral de distribuição da unidade consumidora. Levantar os dados geográficos e climáticos das HIS, as coordenadas de localização e a Irradiação Solar Média.

Tabela 10 – Método para a analisar a viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico (cont.)

Projeto fotovoltaico
<ul style="list-style-type: none"> • Determinar a Irradiação Solar Média no local e, então, as horas de sol pleno. Com esta informação e conhecendo ou estimando o consumo alvo (kWh), pode-se determinar a Potência Total necessária para atender a demanda. • Neste momento, será importante realizar uma pesquisa de mercado para verificar os módulos fotovoltaicos. Na sequência devem ser definidos os inversores.
Viabilidade técnica construtiva
<ul style="list-style-type: none"> • Considerando o investimento alto a ser realizado em um SFV, a estrutura da edificação deve ser avaliada sobre o ponto de vista da carga extra que será adicionada a cobertura. • Nesta etapa, é importante identificar a técnica de fundação, alvenaria e estrutura, e a cobertura da HIS, incluindo as telhas. Além disso, deve-se verificar qual a carga acidental planejada para a edificação.
Viabilidade econômica-financeira
<ul style="list-style-type: none"> • Tendo determinado o SFVCR que irá atender a habitação, definidos os módulos e o inversor, é possível estimar o custo de implantação do sistema. • Com base na tarifa de energia elétrica local, reajustes tarifários anuais e a capacidade de geração do SFVCR, pode-se estimar a economia proporcionada pelo sistema fotovoltaico. • Ainda, devem ser estimados os indicadores econômicos para confirmar, ou não, a viabilidade de implantação do sistema. Os indicadores selecionados neste estudo foram Taxa Interna de Retorno, Valor Presente Líquido e o Retorno do Investimento.

6. CONCLUSÃO

Considerando os consumidores residenciais de baixa renda, para os quais as despesas com energia elétrica comprometem uma parcela significativa do orçamento doméstico, ações que resultem na redução desses gastos são atrativas e devem ser avaliadas.

O Programa Minha Casa Minha Vida tornou obrigatória em 2021 a instalação de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos individualizados nas unidades habitacionais de interesse social. A partir da obrigatoriedade, o presente trabalho propôs uma metodologia que possibilite a análise da viabilidade de implantação do sistema sob o ponto de vista da técnica construtiva e econômico-financeira em habitações já existentes.

Do ponto de vista técnico, de acordo com os resultados obtidos, verificou-se que residências populares de um pavimento, como as apresentadas no estudo de caso, possuem carregamentos baixos por serem basicamente da laje de cobertura e telhado, para o bloco com fbk 3 MPa utilizado. Portanto, as paredes em alvenaria possuem uma resistência significativamente superior à demanda, sendo mais do que

adequadas para suportar os esforços de especificidade.

De acordo com os resultados obtidos do ponto de vista econômico, a aplicação dos indicadores evidencia a viabilidade da proposta de implantação do sistema fotovoltaico, com investimento de R\$9.840,68 e tendo como resultado o retorno do investimento no período de quatro anos. Este é o resultado para uma única casa. Entretanto, se o investimento for pensado como uma proposta para o conjunto habitacional, ou seja, 45 casas, fazendo parte da política pública de habitação, o investimento passa a ser de R\$ 442.830,60. Neste caso, o impacto da instalação do sistema fotovoltaico no empreendimento corresponderia a aproximadamente 10%.

Por fim, o estudo de caso permitiu uma avaliação positiva da instalação de um sistema fotovoltaico em habitações populares. Além disso, foi possível desenvolver uma metodologia que pode ser replicada em diferentes construções de interesse social para verificação da viabilidade de implantação do sistema de geração fotovoltaica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 482. [S. l.], 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 maio 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 687. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 20 maio 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 956. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html>. Acesso em: 20 maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 510: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). 2023: o melhor ano da energia solar no Brasil. São Paulo, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15571-1: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16150: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16274: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para a documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT/CB-003 NBR 16690: instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos. 2º projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR NM 60669: Interruptores para instalações elétricas fixas domésticas e análogas - Parte 1: Requisitos gerais (IEC 60669-1:2000, MOD). Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 6122: Projeto e execução de fundação. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT IEC NBR 62116: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BOQUIMPANI, Carolina Lannes et al. Eficiência energética: sistemas de iluminação com LEDs, distribuídos em corrente contínua e utilizando energia fotovoltaica. *Ambiente Construído*, v. 19, p. 303-316, 2019.

DIAS, C. T. C.; SILVA, W. K. M.; FREITAS, G. P.; NASCIMENTO, J. F. Energia solar no Brasil. *Revista InterScientia*, v. 5, n. 1, p. 153-165, 2017.

ESCOSTEGUY, C. L.; GUARESCHI, N. M. F.; REIS, C. “Programa Minha Casa Minha Vida, o Sonho da Casa Própria e a Construção do Sujeito Endividado*.” *Revista Mosaico*, [s. l.], v. 16, p. 133-143, 2023.

GALAN, J. R. Avaliação da Utilização de Aquecimento Solar de Água para Casas do Programa Minha Casa Minha Vida no Conjunto Habitacional Milton De Paula Walter na Cidade de Campo Mourão - Paraná. Orientador: Prof. Msc. Roberto Widerski. 2016. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

GALVÃO, A. O. Os Impactos da Lei nº 14.300/2022 em Projetos de Microgeração e Minigeração Fotovoltaica. Orientador: Felipe Sass. 2023. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2023.

LOPES, D. W. O. Implementação de Sistemas Fotovoltaicos em Habitações de Interesse Social no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida. Orientador: Paula Meyer Soares. 2021. 201 f. Monografia (Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

MAIA, D. S. et al. Energia Solar Em Habitações Populares: Uma Experiência na Política Habitacional Brasileira. V Simposio Internacional de la História de la Electrificación, [S. l.], ano 2019, 11 maio 2019. La electricidad y la transformación de la vida urbana y social, p. 861-879.

MELO, S. S. Análise Comparativa entre Programas Governamentais de Habitação: Programa Minha Casa Minha Vida e Programa Casa Verde e Amarela. Orientador: Prof. Alexandre de Carvalho Paranaíba. 2021. 24 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Contábeis) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021.

MORAIS, F. H. M. et al. Influência da Irradiação Solar na Análise de Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos. Revista Brasileira de Meteorologia, [S. l.], ano 2021, p. 1982-4351, 6 dez. 2021.

MOREIRA JÚNIOR, O.; SOUZA, C. C. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. Interações (Campo Grande), v. 21, p. 379-387, 2020.

MOURA, G. G.; FERREIRA, L. F. Plano nacional de habilitação: atual cenário do programa minha casa minha vida. CaderNAU, v. 7, n. 1, p. 65-80, 2014.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 03/2014. 530 p.

RÖNNAU, M. Indicadores de Desempenho para a qualificação e desenvolvimento de Empresas Integradoras de Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. Orientador: Juliana Klas. 2023. 19 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Gestão de Energia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2023

SAMPAIO, R. F. Sistema de Automação Distribuído: Uma Abordagem Baseada em Multiagente Aplicada a Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica em Média Tensão. Orientador: Profa. Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão. 2017. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SCHULTZ, A. Análise da Viabilidade Econômica da Utilização do Sistema Fotovoltaico em Habitações de Interesse Social em Belo Horizonte, MG. Orientador: Dr.a Eleonora Sad de Assis. 2021. 90 p. Monografia (Especialista em Sustentabilidade em Cidades) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

SILVA, L. R. J. R.; SHAYANI, R. A.; DE OLIVEIRA, M. A. G. Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018. 2018.

SOLDERA, D.; KÜHN, D. D. Indicadores de viabilidade financeira: considerações sobre instrumentos de análise.

TELES FILHO, P. M. C. Estudos da Viabilidade Econômica da Micro e Minigeração Fotovoltaica à Luz da Resolução Normativa nº 482 da Aneel. Orientador: Demercil de Souza Oliveira Júnior. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

WIVES, D. G.; KÜHN, D. D. (Org.). Gestão e planejamento de agroindústrias familiares. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2018. p. 41-59, 2018.