

VIABILIDADE ECONÔMICA DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL NO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO PARA SOROCABA, SÃO PAULO

Leonardo Hirata Ferreira¹, Cassiano Bragagnolo²

Resumo: Este artigo apresenta um estudo de caso sobre a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico residencial de microgeração distribuída, destinado a uma residência localizada em Sorocaba no estado de São Paulo. A análise considerou a incidência solar local, os custos dos equipamentos e da instalação, bem como uma estimativa do custo da energia fornecida pela concessionária de distribuição. Para tanto, foram utilizados indicadores financeiros amplamente empregados para análises desta natureza, como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o período de retorno do investimento (*payback*) e o custo nivelado da eletricidade (em inglês *Levelled Cost of Energy* – LCOE). Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos residenciais e o potencial de microgeração distribuída na redução dos dispêndios familiares com energia elétrica. Por fim, para os próximos anos espera-se um crescimento na adoção deste tipo de tecnologia no Brasil.

Palavras-chave: viabilidade econômica; sistema fotovoltaico residencial; energia solar; microgeração distribuída.

ECONOMIC VIABILITY OF RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC MICROGENERATION IN BRAZIL: A CASE STUDY FOR SOROCABA, SÃO PAULO

Abstract: This article presents a case study on the economic feasibility of a residential photovoltaic microgeneration system for a home located in Sorocaba, São Paulo. The analysis considered local solar incidence, equipment and installation costs, and an estimate of the cost of energy provided by the distribution utility. Financial indicators widely used in such analyses were employed, including Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), payback period, and Levelized Cost of Energy (LCOE). The results demonstrated the feasibility of residential photovoltaic systems and the potential of distributed microgeneration to reduce household electricity expenses. Finally, an increase in the adoption of this technology in Brazil is expected in the coming years.

Keywords: economic feasibility; residential photovoltaic system; solar energy; distributed microgeneration.

1 Engenheiro Elétrico pela Universidade de Pernambuco – UPE e Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

2 Doutor em Economia Aplicada pela Universidade de São Paulo – USP. Professor do Departamento de Economia da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

1 INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis, como petróleo, gás natural e carvão, ocupam uma posição dominante, representando aproximadamente 84% da matriz energética global (FGV, 2020). No entanto, no Brasil, em contraste com a tendência global, houve um foco mais acentuado em energias renováveis desde a década de 1970, impulsionado por programas nacionais como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), que contribuíram para o aumento dos investimentos em energia renovável.

Essa mudança foi parcialmente motivada pela crise do petróleo na década de 1970, que destacou a necessidade de estratégias alternativas para o suprimento de energia. Entre essas estratégias, destacam-se as políticas de eficiência energética e a busca por fontes substitutas, como o gás natural e a energia nuclear. Apesar desses esforços, a matriz energética elétrica brasileira ainda depende fortemente das usinas hidrelétricas, que representam aproximadamente 68% do total de energia gerado no país (De Souza, *et al.*, 2021). No entanto, em resposta às crescentes preocupações sociais, observou-se uma realocação substancial de recursos para as energias eólica e solar. Essas fontes têm ganhado destaque tanto em âmbito global quanto nacional ao longo do século XXI, promovendo a descarbonização da geração de energia e, no caso do Brasil, reduzindo a dependência das usinas hidrelétricas.

No Brasil, no final da década de 1970, foram desenvolvidos os primeiros sistemas solares térmicos para aquecimento de água em residências. Esses sistemas, simples e acessíveis, ficaram bastante populares na época na região Nordeste devido ao clima quente da região. No entanto, somente em 2011 foi inaugurada a primeira usina solar de grande porte na cidade de Tauá, no estado do Ceará. Essa iniciativa foi realizada pela empresa de energia MPX e contava com uma capacidade de geração de 1 megawatt de energia elétrica, gerados por meio de células fotovoltaicas (Fontes, 2022; Bezerra; Bastos; Bizarria, 2021).

No contexto residencial, a utilização da energia solar tornou-se mais popular no Brasil após a regulamentação promovida pela Resolução Normativa n. 482 de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (Brasil, 2023a). Esta resolução estabeleceu normas para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis e permitiu que os consumidores pudessem gerar a sua própria energia elétrica e utilizar o excedente para abater o consumo da rede elétrica convencional. Esse marco regulatório promoveu uma notável transformação no mercado de sistemas fotovoltaicos, facilitando a adoção generalizada dessa tecnologia.

Dessa forma, impulsionada pelos avanços tecnológicos no setor fotovoltaico, que resultaram na redução dos custos e no aumento da eficiência dos sistemas, a energia solar tornou-se mais acessível e economicamente viável. Essa melhoria significativa levou a popularização da energia solar no Brasil, tanto nos contextos comercial e residencial quanto no industrial. De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil, 2008) e da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar, 2023), a energia solar fotovoltaica apresenta uma capacidade instalada de 25.009 MW, o que corresponde a 11,6% da Matriz Elétrica Brasileira.

Em relação à participação por classes de consumo, de acordo com Greener (2023), a classe residencial representou 49% da potência instalada em 2022, equivalendo a quase metade da potência adicionada no ano. Na geração distribuída, a participação da potência residencial acumulada passou de 43% em 2021 para 49% em 2022. Greener (2023) também aponta que cerca de 90% do número acumulado de instalações pertencem a pessoas físicas, enquanto os 10% restantes pertencem a pessoas jurídicas.

Do ponto de vista histórico, a partir de 2019, observou-se um aumento na capacidade instalada para geração distribuída, abrangendo tanto a microgeração distribuída, que possui uma potência instalada de até 75 kW, quanto a minigeração distribuída, que compreende sistemas com capacidade superior a 75 kW e até 5 MW (Greener, 2023). No ano de 2022, a capacidade instalada de 7,1 GW correspondia a cerca de 43% da capacidade total instalada desde 2012, indicando um crescimento de aproximadamente 75% em comparação com 2021, quando foram instalados 4,5 GW de potência (Greener, 2023). A microgeração e minigeração contribuíram com um volume total de 16,6 GW conectados à rede em 2022, sendo que 86,6% corresponderam à microgeração distribuída e 13,4% à minigeração distribuída (Brasil, 2023).

À luz dos pontos mencionados anteriormente, observa-se o crescimento da energia solar, especialmente em instalações residenciais. Esse avanço é resultado dos diversos benefícios econômicos associados à implementação de sistemas de energia solar fotovoltaica. Quando instalados e dimensionados adequadamente, esses sistemas oferecem vantagens como custos de manutenção reduzidos. Além disso, eles promovem maior estabilidade no orçamento familiar, uma vez que a energia solar não está sujeita às flutuações do mercado global de energia, tornando os custos mais estáveis e previsíveis (HCC Energia Solar, 2023).

Outro aspecto a ser destacado é o impacto da conta de energia no orçamento das famílias, em particular para aquelas de baixa renda, que direcionam uma parcela significativa da renda para cobrir essas despesas. O gasto com energia elétrica é uma despesa essencial para as famílias. Portanto, qualquer aumento no custo da energia pode ter um impacto direto nas finanças familiares. Para atenuar esses efeitos no orçamento doméstico, além das iniciativas de conscientização sobre o consumo e da implementação de práticas de eficiência energética, a utilização de energia solar surge como alternativa para reduzir despesas no longo prazo.

A implementação de sistemas de energia solar residencial oferece benefícios tanto do ponto de vista ambiental quanto financeiro. Essa prática não apenas contribui para a preservação do meio ambiente, como também proporciona economia substancial no dispêndio familiar com energia. Consequentemente, após o período de retorno do investimento (*payback*), as famílias podem ter uma redução na restrição orçamentária, permitindo-lhes usufruir de maior disponibilidade econômico-financeira (Freitas *et al.*, 2022).

Com base no exposto, o objetivo deste artigo é realizar um estudo de caso analisando a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico residencial de microgeração distribuída por meio de uma simulação de implementação do sistema em uma residência localizada no estado de São Paulo, mais especificamente no município de Sorocaba. O estudo de caso em questão considera uma instalação realizada no mês de janeiro de 2023 e um consumo

médio mensal familiar de energia da ordem de 1.000 kWh. Para tanto, foram utilizados indicadores financeiros como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o período de retorno do investimento (*payback*) e o custo nivelado da eletricidade (em inglês *Leveled Cost of Energy* – LCOE) com o intuito de identificar a existência ou não de viabilidade na instalação do sistema descrito em Sorocaba.

Com relação à lacuna na literatura que este estudo visa preencher, destaca-se que a maioria dos estudos sobre energia solar no Brasil tende a focar em análises mais amplas ou em regiões específicas. Embora a maior parte das instalações residenciais estejam ocorrendo no Sudeste, poucos estudos são direcionados ao estado de São Paulo. Este trabalho foca em Sorocaba, em São Paulo, oferecendo *insights* específicos para essa região e potencialmente outras com características similares.

Este estudo está organizado da seguinte maneira: a primeira seção fornece uma breve introdução sobre o tema, estabelecendo um contexto inicial. Na segunda seção é apresentada uma revisão de trabalhos selecionados, enquanto na terceira apresenta-se a metodologia adotada nos cálculos dos indicadores. Na quarta seção, apresentam-se os resultados e suas discussões. Por fim, na quinta e última seção, são apresentadas as conclusões acerca dos resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Consumo de energia e cenário da geração distribuída de energia solar no Brasil

A energia elétrica residencial é utilizada para uma variedade de finalidades, incluindo a cocção de alimentos, iluminação, operação de eletrodomésticos e eletrônicos, segurança e fornecimento básico de eletricidade. Em relação ao consumo mensal médio, os maiores consumidores domiciliares de energia elétrica, em ordem decrescente, são o ar-condicionado, o aquecedor, a churrasqueira elétrica e a torneira elétrica. Entre os itens mais comuns, o chuveiro elétrico, a geladeira e o ar-condicionado se destacam como os principais consumidores (Francisco, 2010). A média de consumo anual no estado de São Paulo é de 2.926 kWh/hab (EPE, 2024).

Os gastos com energia impactam os preços na economia, tendo efeito relevante na inflação, no consumo e na produção. Esses efeitos se estendem para além do ambiente doméstico, uma vez que as empresas absorvem esses custos e os refletem nos preços de seus produtos, afetando assim o custo de vida dos consumidores. Dado que praticamente todas as atividades econômicas modernas dependem da energia, a dinâmica de preços e a influência da energia sobre a inflação desempenham um papel crítico na determinação dos custos e preços das mercadorias. Nesse contexto, quando a fonte de energia é passível de substituição, a busca por alternativas, como a energia solar, pode ser uma estratégia eficaz para reduzir custos e minimizar os impactos econômicos.

De acordo com Sauer (2006), o mercado de energia solar no Brasil surgiu na década de 1980, por meio do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), criado pelo Governo Federal em resposta à crise do petróleo. O Proálcool foi concebido diante da necessidade de encontrar fontes alternativas de energia, uma vez que aproximadamente 80% do petróleo

consumido no país era importado. O objetivo principal era promover a produção de álcool combustível a partir da cana-de-açúcar, oferecendo uma alternativa à dependência dos derivados do petróleo e, ao mesmo tempo, reduzir a vulnerabilidade do país no cenário internacional. Nesse ínterim, como destacado por Fedrizzi (2002), os primeiros sistemas de geração de energia solar foram implantados para abastecer bombas de água utilizadas para irrigação agrícola, principalmente em áreas remotas e com infraestrutura elétrica limitada.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (Brasil, 2004), a partir de 2002 mais incentivos pontuais às energias renováveis foram implementados como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) que previa a instalação de 3.300 MW de capacidade de geração de energia elétrica renovável até 2011 com foco em grandes usinas. A partir de 2012 com a criação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) permitiu-se que os consumidores gerassem energia solar em suas residências.

A partir de então, houve avanço na adoção da energia solar no Brasil, superando desafios iniciais, como custos elevados e limitações tecnológicas. O avanço da tecnologia e os incentivos governamentais e regulatórios desempenharam papel fundamental na popularização do acesso à energia solar em todo o país.

De acordo com Diamandis (2014), a redução dos preços dos sistemas solares tem sido um fator-chave nesse processo de avanço na adoção da tecnologia. Os avanços na área de semicondutores e o aumento da produção de células solares têm possibilitado uma diminuição nos custos dos painéis solares de silício. Os preços das células de silício têm diminuído ao longo do tempo, exercendo um impacto direto sobre os custos de produção dos módulos fotovoltaicos. Assim, conforme Greener (2023), os módulos fotovoltaicos representam cerca de 38% a 50% do preço final do sistema.

Outro ponto a ser considerado é que os módulos fotovoltaicos têm como principal insumo o silício metálico que representa cerca de 60% da estrutura de custos com insumos do módulo fotovoltaico. Portanto, a redução nos preços desse insumo impacta diretamente os preços dos módulos fotovoltaicos e por consequência contribui para a redução do preço do sistema de energia solar (Diamandis, 2014).

O sistema residencial acumulou uma redução de custos da ordem de 50% desde 2016. Em relação aos custos de instalação para o mesmo período, houve uma redução de 42%. O preço médio dos sistemas, que de acordo com Greener (2023) são compostos por módulos fotovoltaicos, inversor, sistema de montagem, sistema de cabeamento e sistema de proteção, apresentaram uma redução de 55%.

Essa redução nos preços tem viabilizado a instalação de sistemas solares em residências, empresas e outros empreendimentos, tornando a energia solar uma opção mais acessível e atrativa. Além disso, conforme Silva (2015) a existência de linhas de financiamento e políticas de incentivo tem estimulado ainda mais este setor no Brasil.

É possível observar também uma notável redução no preço em dólar por watt da energia solar gerada. Ao longo do período compreendido entre 1977 e 2015, o valor por watt diminuiu significativamente, passando de aproximadamente 80 U\$\$/w para 0,36 U\$\$/w (Diamandis, 2014).

Outro fator para o aumento da implantação de sistemas desta natureza é o incremento da eficiência dos módulos fotovoltaicos, possibilitando que eles gerem mais energia a partir da mesma área de superfície. De acordo com Casarin (2021), já existem módulos fotovoltaicos que alcançam uma eficiência em torno de 25%. Isso significa que o painel solar consegue converter aproximadamente 25% da energia que incide sobre cada metro quadrado de sua superfície.

Embora seja benéfica ao consumidor, a queda dos preços internacionais dos módulos é um dos obstáculos que dificultam a produção nacional desses equipamentos. Isso cria um cenário onde o mercado doméstico é predominantemente abastecido por equipamentos importados, principalmente os componentes eletrônicos que integram o sistema fotovoltaico. Conforme destacado pela HCC Energia Solar (2022b), os principais elementos do sistema fotovoltaico, como os módulos e inversores, são provenientes da China, tornando a taxa de câmbio um fator determinante nos preços do produto.

Além disso, a logística internacional, incluindo os custos de frete, afeta as flutuações de preço no mercado nacional (HCC Energia Solar, 2022b). Um exemplo destes efeitos ocorre em momentos de incerteza, como durante a pandemia COVID-19, em que houve um aumento nos custos de frete e no tempo médio de entrega dos equipamentos. Adicionalmente, nesse período, houve uma depreciação do real em relação ao dólar, resultando em um aumento no preço médio do sistema fotovoltaico.

O mercado nacional de energia solar está estreitamente conectado às distribuidoras de equipamentos fotovoltaicos, as quais operam através da importação de equipamentos. Essas distribuidoras atuam como intermediárias diretas entre os fabricantes internacionais de equipamentos e os instaladores que operam em território nacional.

Em termos regionais, a região sul-sudeste se destaca na capacidade instalada de geração distribuída, sendo a região sudeste a líder em investimentos nesse setor. No ano de 2022, foram direcionados mais de 10 bilhões de reais para projetos solares nessa região, representando aproximadamente 34% de toda a capacidade adicionada no país no ano (Greener, 2023).

2.2 Estudos relacionados

Cabral e Vieira (2012) avaliaram a viabilidade econômica de sistemas de energia solar residencial no Brasil. No entanto, os autores concluíram que, na época da pesquisa, não havia viabilidade financeira para este tipo de investimento devido aos altos custos tecnológicos associados a esses sistemas (Cabral; Vieira, 2012).

Nakabayashi (2014) estimou o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para microgeração fotovoltaica residencial no Brasil para 27 capitais em 2014, realizando projeções para os anos subsequentes. Os resultados apontaram que, na época, se vislumbrava a possibilidade de condições econômico-financeiras favoráveis para a implementação residencial de sistemas de geração fotovoltaica já em 2015 (Nakabayashi, 2014).

Dantas e Pompemeyer (2018) destacam que, de modo geral, o uso de sistemas fotovoltaicos no Brasil é economicamente atraente. No entanto, os autores argumentam que

é necessário considerar os impactos na rede elétrica devido à variabilidade do fornecimento de energia e às possíveis perdas econômicas das empresas elétricas e dos usuários. Além disso, afirmam que ainda há um grande potencial para o desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos no Brasil, especialmente nas regiões com alta radiação solar (Dantas; Pompemeyer, 2018).

Santos *et al.* (2018) avaliam a viabilidade econômica da instalação de um sistema de geração de energia solar com placas fotovoltaicas residencial em Ipatinga, Minas Gerais, com consumo médio de 138 KWh/mês. O custo do sistema foi estimado em R\$ 10.841,00, com um adicional de R\$ 6.000,00 para manutenção. Embora o tempo de retorno do investimento ou *payback* tenha ocorrido no décimo segundo ano, o projeto foi considerado inviável, pois não atingiu um Valor Presente Líquido (VPL) positivo e a Taxa Interna de Retorno (TIR) de 6,88% ficou abaixo da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada pelos autores de 7,39% (Santos *et al.*, 2018).

Matias e Cardoso (2023), descrevem a mudança no cenário da geração de energia elétrica, que antes era dominada por grandes empresas e considerada inacessível para consumidores residenciais e comerciais. Os autores argumentam que com os avanços tecnológicos, especialmente na energia solar fotovoltaica, tornou-se viável e muitas vezes vantajoso o investimento em geração de energia própria. Uma análise do tempo de retorno do investimento ou *payback* para um sistema com potência total instalada de 26,52kWp para a cidade de Pescaria Brava em Santa Catarina foi realizada. Os resultados mostraram a viabilidade do projeto com *payback* de 3 anos e 9 meses. Este prazo foi considerado relativamente curto em comparação com a durabilidade teórica do sistema que é de aproximadamente 25 anos (Matias; Cardoso, 2023).

Souza e Penha (2020) realizaram um estudo para avaliar a viabilidade econômica de um projeto de investimento em energia fotovoltaica para uma fábrica de chapéus na cidade de Caicó, Rio Grande do Norte. Os resultados indicaram que o investimento teria um *payback* de quatro anos, com uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 30% e um Valor Presente Líquido (VPL) positivo. Considerando que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada no estudo foi de 5%, os autores concluíram que o investimento é viável devido ao Valor Presente Líquido (VPL) positivo e à Taxa Interna de Retorno (TIR) ser significativamente superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Souza; Penha, 2020).

Outro estudo que avaliou a viabilidade de um projeto de energia solar fotovoltaica no setor industrial foi Souza *et al.* (2023), que avaliaram a viabilidade econômica como alternativa para reduzir custos e diversificar a energia na indústria de madeiras Gama, na Bahia. Foram calculados o Valor Presente Líquido (VPL), o *payback*, a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Os resultados indicaram que a implantação de 230 placas fotovoltaicas geraria um Valor Presente Líquido (VPL) positivo, com uma Taxa Interna de Retorno (TIR) bastante superior a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e um *payback* bastante curto, de 2 anos e 3 meses (Souza *et al.*, 2023).

O trabalho de da Silva (2017) demonstra que o Custo Nivelado de Energia (LCOE) pode levar a conclusões errôneas, uma vez que considera o ciclo de vida de uma fonte de geração de energia com tendo um perfil de geração homogêneo. Os resultados apontaram que uma tecnologia intermitente com Custo Nivelado de Energia (LCOE) menor, como a

eólica, possui uma lucratividade maior que uma geração por meio de carvão nacional, que tem Custo Nivelado de Energia (LCOE) superior, mas apresentou resultado deficitário.

3 METODOLOGIA

Com o objetivo de realizar uma análise econômico-financeira do investimento em um sistema de energia solar residencial, realizou-se um estudo de caso para uma residência localizada no município de Sorocaba no estado de São Paulo. A residência considerada neste estudo apresenta um consumo médio hipotético de aproximadamente 1.000 kWh distribuídos em 12 meses, valor compatível com um sistema suplementar de geração de energia para uma residência de médio consumo energético na região de Sorocaba. A seguir apresentam-se as metodologias e cálculo do dimensionamento do sistema fotovoltaico, do custo do sistema, da geração de energia do sistema e, por fim, os indicadores financeiros de viabilidade econômico-financeira.

3.1. Dimensionamento do sistema fotovoltaico

O cálculo do dimensionamento ou tamanho do sistema real (TS) para a residência localizada no município de Sorocaba com consumo médio mensal de 1.000 kWh pode ser realizado por meio da expressão (1) (Silva Junior; Steiner, 2022).

$$TS(real) = \left(\frac{\text{Consumo}}{\frac{80}{HSP}} \right) * (1 + Perdas) \quad (1)$$

Na expressão (1) o consumo médio diário é dividido pelo índice de Hora de Sol Pleno (HSP). O índice de Hora de Sol Pleno (HSP) é determinado com base na localização geográfica da residência. Neste caso, para Sorocaba no estado de São Paulo, adotou-se o valor de 6 kWh/m². O cálculo também considera as perdas do sistema, estimadas em 20% para este estudo, conforme a proposta de Solfácil (2023), aplicável para painéis solares instalados com orientação leste ou oeste.

A partir do tamanho do sistema (TS), é possível calcular a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários. A quantidade de painéis é calculada por meio da expressão (2) que é dada pela divisão entre o TS e a potência da placa solar a ser utilizada (Silva Junior; Steiner, 2022).

$$Quantidade\ de\ paineis = \frac{TS(real)*1000}{Potência\ do\ painel} \quad (2)$$

Em relação ao dimensionamento das estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos, leva-se em consideração o tipo de telhado da residência. Para fins de cálculo considerou-se um telhado do tipo fibrocimento. Além disso, optou-se por utilizar três arranjos de cinco módulos cada, totalizando 15 módulos fotovoltaicos. Quanto ao inversor, selecionou-se um inversor com capacidade de 8 kW que pode ser considerado adequado à potência do sistema considerado.

3.2 Custo do sistema fotovoltaico

Para avaliar a viabilidade da implementação do sistema solar residencial em questão, é preciso obter informações sobre os custos dos equipamentos, bem como os custos de instalação e manutenção. Além disso, é necessário realizar uma análise prévia do tamanho do sistema, das marcas e modelos dos equipamentos disponíveis, da qualidade da mão-de-obra envolvida e da localização geográfica onde o serviço será executado. Esses fatores desempenham um papel crucial na determinação da atratividade e da eficácia do sistema solar residencial proposto.

O investimento inicial no sistema solar residencial é essencialmente constituído pelos custos dos equipamentos e mão-de-obra relacionados à instalação. De forma resumida, os principais equipamentos necessários para a instalação compreendem os painéis fotovoltaicos (FV), o inversor de frequência, as estruturas de fixação, o sistema de cabeamento e o sistema de proteção (HCC Energia Solar, 2022a).

De acordo com Greener (2022), o investimento no sistema fotovoltaico (i_0) é estabelecido com base em dois componentes principais: os custos totais da mão-de-obra de instalação e os custos dos equipamentos necessários para a implementação do sistema de energia solar na residência, conforme apresentado na expressão (3).

$$i_0 = \text{Custo da mão de obra} + \text{Custo do kit fotovoltaico} \quad (3)$$

Para avaliar o custo do sistema fotovoltaico em questão, foi realizada uma cotação de mercado para um sistema de 8 kWp, conforme o dimensionamento realizado. A cotação foi obtida por meio da plataforma digital de uma empresa especializada na distribuição de equipamentos de energia solar a nível nacional.

Concomitantemente, foi estimado o custo da mão-de-obra para a instalação do sistema de energia solar, considerando a diferença entre o preço total final do projeto e o custo dos equipamentos necessários. O preço final do sistema, que inclui tanto os equipamentos quanto a instalação, foi determinado com base na média de mercado para a implementação de um sistema de 8 kWp, aproximadamente R\$3,92/Wp, conforme apresentado no Estudo Estratégico de Geração Distribuída (Greener, 2023).

3.3 Geração de energia do sistema fotovoltaico

Outro aspecto analisado é o valor estimado da geração de energia solar e seu impacto financeiro. Para essa avaliação, é necessário determinar a média anual de horas diárias de exposição dos painéis fotovoltaicos à radiação solar. Essa informação, fundamental para os cálculos de geração e a viabilidade financeira, pode ser obtida no Atlas Solarimétrico (Tiba; Fraidenraich, 2000).

De acordo com o Atlas Solarimétrico (Tiba; Fraidenraich, 2000), a localização de Sorocaba apresenta uma média anual de aproximadamente 6 horas diárias de irradiação solar. É importante destacar que essa média anual considera a variação sazonal da irradiação solar, que é maior no verão e menor no inverno. Com base nas 6 horas diárias de irradiação, na potência dos módulos do projeto e considerando perdas de 20%, é possível estimar a

geração diária de energia por placa em kWh, conforme o cálculo apresentado na expressão (4) (Dantas; Pompermayer, 2018).

$$\text{Geração} = \text{Pot do módulo} * \text{Qtde de horas de sol por dia} * (1 - \text{perdas}) \quad (4)$$

Um aspecto adicional a ser analisado é que a geração de energia, conforme a expressão (4), não segue uma produção linear ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema, devido ao fator de decaimento das placas fotovoltaicas ao longo do tempo. De acordo com as especificações técnicas, as placas solares apresentam um fator de decaimento anual não superior a 2% no primeiro ano e não superior a 0,55% nos anos subsequentes (Canadian Solar INC., 2023).

Ademais, na primeira etapa de análise, é essencial determinar o horizonte temporal do fluxo de caixa. O tempo de vida útil garantido do sistema fotovoltaico residencial é de aproximadamente 25 anos, sendo necessária a substituição dos módulos fotovoltaicos após esse período. Para estimar as receitas do fluxo de caixa, é necessário calcular a quantidade de energia produzida ao longo dos 25 anos e seu valor financeiro correspondente. Por meio da expressão (4), é possível estimar a geração mensal de energia solar do sistema residencial, permitindo o cálculo das receitas ao longo do tempo e a avaliação da viabilidade financeira do projeto.

3.4 Indicadores de viabilidade econômico-financeira

Os indicadores de viabilidade econômico-financeira a serem analisados são o Custo Nivelado de Energia (em inglês *Leveled Cost of Energy* – LCOE), o Valor Presente Líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o tempo de retorno do investimento (*payback*).

De acordo com Kimumoto (2020), o cálculo do Custo Nivelado de Energia (LCOE) é utilizado para comparar o custo da eletricidade produzida com diferentes capacidades de geração e comparar diversas fontes de produção de modo a identificar a mais competitiva. Essa métrica fornece o valor monetário da geração, permitindo a comparação em uma mesma base para diferentes fontes de energia. O cálculo desse indicador, em sua forma simples, pode ser realizado por meio da expressão (5).

$$\text{LCOE simples} = \frac{\text{Capex} + \text{Opex} - \text{Residual}}{\text{EP}} \quad (5)$$

Em que: Capex é o capital investido no sistema de geração de energia elétrica; Opex é a soma dos custos operacionais do sistema; Residual é o valor do equipamento ao final da sua vida útil; e EP é a energia gerada ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema.

Outra abordagem para calcular o Custo Nivelado de Energia (LCOE), segundo Dantas e Pompermayer (2018), é por meio da inclusão da taxa de desconto no cálculo. Nesse caso, considera-se o Valor Presente Líquido (VPL) em que as os investimentos, os fluxos de receitas e as despesas ao longo da vida útil do projeto são calculados em termos de seu valor presente. Na expressão (5), a geração de eletricidade ao longo de 25 anos é trazida para o valor presente, presumindo-se que a eletricidade gerada resulte em receitas de venda. Portanto, os fluxos de investimento, custos de manutenção e a geração de energia,

considerando as perdas de eficiência, são calculados por meio da expressão (6) (Dantas; Pompermayer, 2018).

$$LCOE = \frac{i_0 + \sum_{n=1}^N (Inv_i + CO\&M_i) \cdot (1+taxa)^{-i}}{\sum_{n=1}^N (G.ene\ anual_i) \cdot (1+taxa)^{-i}} \quad (6)$$

Em que. i_0 é o investimento inicial que pode ser calculado por meio da expressão (3), Inv_i é o investimento no ano i , $CO\&M$ são os custos de operação e manutenção no ano i , $G.ene\ anual$ é a energia produzida anualmente que leva em consideração o fator de decaimento anual da eficiência da placa e a taxa de desconto anual.

Segundo Ribeiro (2017), o Valor Presente Líquido (VPL), definido na expressão (7), visa analisar a viabilidade de um projeto de energia solar residencial, determinando se o projeto é viável ou não economicamente. O Valor Presente Líquido (VPL considera o valor do dinheiro no tempo, calculando a diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa futuros gerados ao longo dos N anos de vida útil do sistema de energia solar, descontados da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e do investimento inicial necessário para realizá-lo.

$$VPL = i_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FC_i}{(1+TMA)^n} \quad (7)$$

Na qual: i_0 é o investimento inicial.; FC_i é o fluxo de caixa livre gerado no período i ; TMA é a taxa mínima de atratividade; t é o período considerado.

O cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) pode ser realizado por meio de um procedimento dividido em três etapas distintas. A primeira etapa consiste em estimar os fluxos de caixa que o sistema de energia solar irá gerar ao longo dos 25 anos de vida útil. Nessa etapa é considerada a receita proveniente da multiplicação da alíquota da energia solar em R\$/kWh pela energia produzida no ano vigente em kWh, considerando as perdas de geração do painel fotovoltaico ao longo da vida útil do sistema e a taxa de juros projetada. Para calcular o saldo anual, é feita a diferença entre as receitas e as despesas para cada período.

Para o cálculo do valor presente do fluxo de caixa considera-se, a título de comparação, uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que corresponde a taxa de desconto que reflete o custo de oportunidade dos recursos investidos no projeto. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) escolhida foi de 12% ao ano em termos nominais, o que equivale aproximadamente a taxa do título IPCA+ 2045, que em 2023 é de IPCA + 6,51% com uma estimativa de inflação implícita média de 5,49%.

O Valor Presente Líquido (VPL), conforme definido na expressão (7), é resultado da diferença do somatório entre o valor presente dos fluxos de caixa dos períodos de $n=1$ a $n=25$ e o investimento inicial necessário para implantar o projeto. Deste modo caso o Valor Presente Líquido (VPL) seja maior que zero implica que o projeto apresenta um retorno maior que o custo de oportunidade dos recursos investidos no título IPCA +. Dessa forma, considera-se que o investimento é viável com base na análise do indicador.

O cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) permite analisar a taxa de retorno esperada do projeto. A TIR é calculada por meio da expressão (8), na qual a TIR é a taxa de desconto que iguala o VPL do fluxo de caixa do projeto a zero (Ribeiro, 2019).

$$VPL = \sum_{n=1}^N \frac{FC_i}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (8)$$

De acordo com Ribeiro (2017), o tempo de retorno do investimento ou *payback* é um método simples e direto de análise de investimentos para determinar o tempo necessário para que um investimento retorne o capital investido. Para calcular o tempo de retorno do investimento ou *payback*, somam-se os fluxos de caixa de cada período até que o valor acumulado seja igual ao investimento inicial. Portanto, o cálculo desse indicador leva em consideração as receitas e despesas do projeto, o investimento inicial dado pela expressão (3) e o fluxo de caixa de cada período, até que o total acumulado seja igual ou superior ao investimento inicial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das expressões (1) e (2) foi possível realizar o dimensionamento do sistema de energia solar fotovoltaico para a demanda média mensal de 1.000 kWh da residência localizada em Sorocaba. A partir da expressão (1) obteve-se o dimensionamento de um sistema de aproximadamente 6,7kWp. Logo, será considerada uma potência do sistema de 8 kWp, a fim de atender a demanda específica do objeto de estudo e possíveis ampliações do consumo, bem como proteger a geração caso ocorram perdas acima de 20%.

Conforme a expressão (2) a quantidade de painéis necessária para suprir a demanda da residência, a partir da escolha do painel solar de 545W é de 15 painéis de placas fotovoltaicas.

A partir dos resultados uma pesquisa de mercado para obter informações sobre os preços dos componentes necessários para a implementação do sistema de energia solar residencial foi realizada. O preço do conjunto de componentes fotovoltaicos foi estabelecido com base no preço de venda de uma plataforma de vendas do setor. O valor total dos equipamentos, detalhados no Quadro 1, foi estimado em R\$ 19.813,25.

Quadro 1 - Componentes do *kit* fotovoltaico utilizado na implementação do sistema de energia solar residencial de 8Kwp

Produto	Quantidade	Item
Painel 545Wp Canadian	15	Painel Solar
Inversor SAJ 8KW	1	Inversor
Presilha Superior com Parafusos	24	Estrutura de Fixação
Presilha Lateral com Parafusos	12	
Emendas Perfil	6	
Presilha de Aterramento	3	
Parafuso Fibrocimento	24	
Perfil de Alumínio 3,6m	6	
Perfil de Alumínio 3,6m	6	
Conector Solar MC6	3	
Cabo Preto 4mm	45	
Cabo Vermelho 4mm	45	

Fonte: Plataforma da distribuidora.

Em 2023, observou-se uma redução nos preços desses equipamentos, influenciada por uma série de fatores. Um dos principais, de acordo com Casarin (2023), foi a ampla disponibilidade de equipamentos fotovoltaicos no mercado, resultando em um excesso de oferta combinado com uma demanda inicialmente baixa durante o mesmo período. Destaca-se também a alteração nas regulamentações relacionadas à geração distribuída, que exigiram uma adaptação ao estabelecida pelo marco legal baseado na Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022.

Além disso, o aumento gradual da taxa Selic entre 2021 e 2023, que se manteve em 13,75% ao ano, teve um impacto negativo ao desencorajar investimentos em geral e, em especial no setor de geração de energia solar residencial. Conforme relatado por Hein (2023), houve um maior controle na oferta de financiamentos bancários em 2023, resultando em uma redução na disponibilidade de crédito e no acesso a recursos por parte dos consumidores finais. Outro ponto que contribuiu para a redução dos preços foi a normalização do frete internacional e a estabilização do dólar após o período pandêmico (HCC Energia Solar, 2022b).

Para o cálculo do custo de aquisição do sistema fotovoltaico usado no estudo de viabilidade, o preço da mão de obra de instalação considerado será o da média de mercado, que para um sistema de 8kWp é dado pela expressão (3).

Assim, para a análise de viabilidade econômica, será considerado um investimento total de R\$ 29.893,25 para um sistema de 8 kWp, sendo o custo da mão-de-obra de R\$ 10.080,00 e dos equipamentos de R\$ 19.813,25. Esses valores representam, respectivamente, 33,7% e 66,3% do custo total do sistema de energia solar.

A geração do sistema de 8 kWp é calculada de acordo com a expressão (4) que relaciona a geração em kWh do sistema de energia solar residencial. O resultado apontou para uma geração mensal estimada de 1.188 kWh/ mês.

Para estabelecer uma estimativa mais conservadora da geração de energia, considerou-se um total de 360 dias de geração anual. Essa abordagem conservadora leva em conta eventuais variações sazonais e dias não produtivos ao longo do ano. A geração anual de energia em kWh é obtida multiplicando-se a estimativa mensal de geração por doze meses, gerando um valor de 14.256 kWh/ ano.

A partir da multiplicação da geração anual estimada pelo valor do kWh do ano, encontra-se o valor monetário para a geração de energia no ano base. Outro fator que deve ser considerado no fluxo de caixa é o decaimento anual da geração do equipamento que, como informado anteriormente, é não superior a 2% do primeiro ano e não superior a 0,55% nos anos seguintes (Canadian Solar INC., 2023). Assim, para finalidade de cálculo, considerou-se um decaimento de 1% no primeiro ano e 0,55% nos demais anos.

No que diz respeito às despesas, é necessário considerar a estimativa dos gastos anuais, levando em conta a vida útil dos equipamentos. Segundo Neris (2021), ao longo dos 25 anos de operação do sistema de energia solar, o único componente que teoricamente precisa ser substituído é o inversor, geralmente aos 15 anos de uso. Assim, os custos associados ao sistema de energia solar são de manutenção, reparos, limpeza e inspeções regulares ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema. No 15º ano, espera-se um custo de substituição do inversor de frequência, com um dispêndio médio de R\$ 5.771,18, ajustado no tempo com uma taxa de 6% ao ano, totalizando um valor de R\$ 13.830,97.

Além disso, estima-se um custo anual de manutenção equivalente a 5% do valor do investimento inicial, que também é ajustado no tempo para o período. Os demais componentes e equipamentos do sistema fotovoltaico, como cabos e estruturas de fixação de componentes em alumínio e inox, têm vida útil igual ou superior à dos painéis solares (Garcia, 2021).

Com base nos dados apresentados na Tabela 1, é possível verificar a geração total de energia do sistema de 8 kWp ao longo de cada ano e somar esses valores ao longo dos 25 anos de vida útil. É importante ressaltar que, embora a demanda energética da residência seja constante durante toda a vida útil, a geração do sistema de energia solar é decrescente devido à perda de eficiência dos módulos solares.

A Tabela 1 detalha os investimentos necessários (Inv.), a porcentagem de geração em relação à geração de energia anual do ano zero (Geração) – contabilizando o decaimento –, a demanda de energia anual em kWh necessária para suprir as necessidades da residência (D.Ene anual), a geração anual em kWh do sistema de energia solar fotovoltaica (G.Ene anual) e, por fim, os custos anuais de operação e manutenção do sistema de energia solar (COeM), estimados em 5% do investimento inicial e corrigidos em 5% ao ano.

Os custos de manutenção, estimados em 5% do valor do investimento inicial são calculados levando em consideração um cenário pessimista. Os principais custos de manutenção, de acordo com Portal Solar (2023) envolvem possíveis reparos e substituições dos equipamentos, geralmente cobertos pela garantia fornecida pelo fabricante. Ademais,

é necessário realizar a limpeza dos módulos para remover detritos e poeira acumulados nas placas solares.

Tabela 1 - Investimentos, decaimento da eficiência de geração do painel fotovoltaico, demanda anual, geração de energia contabilizando o decaimento e custos de operação e manutenção do sistema ao longo dos 25 anos de vida útil

Ano	Inv. (R\$)	Geração (%)	D.Ene anual (kWh)	G.Ene anual (kWh)	COeM (R\$)
0	29.893,25	100,000	12.000	14.256	0,00
1	0,00	99,000	12.000	14.113	1.494,66
2	0,00	98,450	12.000	14.035	1.569,40
3	0,00	97,900	12.000	13.957	1.647,87
4	0,00	97,350	12.000	13.878	1.730,26
5	0,00	96,800	12.000	13.800	1.816,77
6	0,00	96,250	12.000	13.721	1.907,61
7	0,00	95,700	12.000	13.643	2.002,99
8	0,00	95,150	12.000	13.565	2.103,14
9	0,00	94,600	12.000	13.486	2.208,30
10	0,00	94,050	12.000	13.408	2.318,71
11	0,00	93,500	12.000	13.329	2.434,65
12	0,00	92,950	12.000	13.251	2.556,38
13	0,00	92,400	12.000	13.173	2.684,20
14	0,00	91,850	12.000	13.094	2.818,41
15	13.830,97	91,300	12.000	13.016	2.959,33
16	0,00	90,750	12.000	12.937	3.107,30
17	0,00	90,200	12.000	12.859	3.262,66
18	0,00	89,650	12.000	12.781	3.425,79
19	0,00	89,100	12.000	12.702	3.597,08
20	0,00	88,550	12.000	12.624	3.776,94
21	0,00	88,000	12.000	12.545	3.965,78
22	0,00	87,450	12.000	12.467	4.164,07
23	0,00	86,900	12.000	12.388	4.372,28
24	0,00	86,350	12.000	12.310	4.590,89
25	0,00	85,800	12.000	12.232	4.820,44
Σ	43.724,22	-	312.000	343.570	71.335,90

Investimentos necessários (Inv.); geração de energia anual (Geração); demanda de energia anual (D.Ene anual); geração anual (G.Ene anual); custos anuais de operação e manutenção (COeM).

Fonte: resultados da pesquisa.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, pode-se constatar que a energia total produzida pelo sistema ao longo dos 25 anos de vida útil será de 343.570 kWh. Considerando-se uma taxa de juros de 6% ao ano durante esse período e adotando-se um preço fixo de R\$ 0,81 por kWh, os resultados demonstram que é possível obter uma economia de R\$ 163.231,58 ao longo do período após a dedução dos custos de operação e manutenção.

Conforme já citado, a partir do custo nivelado de energia (LCOE) é possível comparar diversas fontes de energia, pois esta métrica fornece o custo médio da geração de energia ao longo da vida útil do projeto. O custo nivelado de energia simples (LCOE simples) retorna um valor medido em R\$/kWh, que pode ser comparado com o indicado na conta de energia residencial.

O custo nivelado de energia simples (LCOE simples) para o sistema de energia solar residencial foi estimado em R\$0,33/kWh por meio da expressão (5). Apesar de fornecer uma visão clara dos custos associados à geração de energia, destaca-se que o custo nivelado de energia (LCOE) apresenta algumas limitações, pois considera apenas os custos internos do projeto, o que não leva em consideração os impactos socioeconômicos vinculados à geração de energia. Ressalta-se também que, conforme discutido por da Silva (2017) que seu uso pode levar a conclusões errôneas, uma vez que ele considera o ciclo de vida de uma fonte de geração de energia com tendo um perfil de geração homogêneo.

Outra maneira de calcular o custo nivelado de energia (LCOE) é por meio da expressão (6) na qual, diferentemente do custo nivelado de energia simples (LCOE simples), atribui-se uma taxa de desconto para trazer os fluxos a valor presente. A taxa de desconto nominal considerada para efeitos de cálculo foi de 12% ao ano, que é o valor da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), cujo valor foi discutido anteriormente (IPCA+6,51%, com uma estimativa de inflação implícita média de 5,49%). A Tabela 2 apresenta os cálculos para obtenção do custo nivelado de energia (LCOE).

Tabela 2 - Cálculo do LCOE incluindo-se a taxa de desconto

Ano	Inv. (R\$)	COeM (R\$)	CT (R\$)	G.Ene anual (kWh)	Juros (1+tx) ^t	CT VPL (R\$)	G.Ene anual VPL
0	29.893,25	0,00	29.893,25	14.256	1,00000000	29.893,25	14.256,0
1	0,00	1.494,66	1.494,66	14.113	1,06510000	1.403,31	13.250,8
2	0,00	1.569,40	1.569,40	14.035	1,13443801	1.383,41	12.371,8
3	0,00	1.647,87	1.647,87	13.957	1,20828924	1.363,80	11.550,7
4	0,00	1.730,26	1.730,26	13.878	1,286949599	1.344,46	10.783,8
5	0,00	1.816,77	1.816,77	13.800	1,370730017	1.325,40	10.067,5
6	0,00	1.907,61	1.907,61	13.721	1,459964542	1.306,61	9.398,4
7	0,00	2.002,99	2.002,99	13.643	1,555008233	1.288,09	8.773,6
8	0,00	2.103,14	2.103,14	13.565	1,656239269	1.269,83	8.190,0
9	0,00	2.208,30	2.208,30	13.486	1,764060446	1.251,83	7.645,0
10	0,00	2.318,71	2.318,71	13.408	1,878900781	1.234,08	7.136,0
11	0,00	2.434,65	2.434,65	13.329	2,001217221	1.216,58	6.660,6
12	0,00	2.556,38	2.556,38	13.251	2,131496463	1.199,34	6.216,7
13	0,00	2.684,20	2.684,20	13.173	2,270256882	1.182,33	5.802,2
14	0,00	2.818,41	2.818,41	13.094	2,418050605	1.165,57	5.415,2
15	13.830,97	2.959,33	16.790,30	13.016	2,575465700	6.519,33	5.053,7
16	0,00	3.107,30	3.107,30	12.937	2,743128517	1.132,76	4.716,3
17	0,00	3.262,66	3.262,66	12.859	2,921706183	1.116,70	4.401,2
18	0,00	3.425,79	3.425,79	12.781	3,111909256	1.100,87	4.107,0

Ano	Inv. (R\$)	COeM (R\$)	CT (R\$)	G.Ene anual (kWh)	Juros (1+tx) [†]	CT VPL (R\$)	G.Ene anual VPL
19	0,00	3.597,08	3.597,08	12.702	3,314494548	1.085,26	3.832,3
20	0,00	3.776,94	3.776,94	12.624	3,530268143	1.069,87	3.575,8
21	0,00	3.965,78	3.965,78	12.545	3,760088599	1.054,71	3.336,4
22	0,00	4.164,07	4.164,07	12.467	4,004870367	1.039,75	3.112,9
23	0,00	4.372,28	4.372,28	12.388	4,265587428	1.025,01	2.904,3
24	0,00	4.590,89	4.590,89	12.310	4,54327717	1.010,48	2.709,5
25	0,00	4.820,44	4.820,44	12.232	4,839044514	996,15	2.527,7
Σ	43.724,22	71.335,90	115.060,12	343.570		64.978,78	177.795,4

Investimentos necessários (Inv.); custos anuais de operação e manutenção (COeM); custo total (CT); geração de energia anual (G.Ene anual); cálculo da taxa de desconto considerada (Juros); valor presente líquido do custo total (CT VPL); valor presente líquido da geração de energia anual (G.Ene anual VPL).

Fonte: resultados da pesquisa.

Utilizando-se os dados apresentados na Tabela 2 e a expressão (6) estimou-se o LCOE em R\$0,36 kWh/mês. Percebe-se que o valor é cerca de 10% superior ao calculado para o LCOE simples. Budel (2017) estima o valor de três sistemas de geração de energia fotovoltaica residencial para a cidade de Santa Maria no Rio Grande do Sul. Os valores calculados para o ano de 2017, são entre 33% e 50% inferiores aos obtidos neste estudo para Sorocaba, variando de R\$0,18 kWh/mês a R\$0,27 kWh/mês dependendo da potência considerada.

A Tabela 3 apresenta os investimentos necessários (Inv.), a tarifa de energia elétrica considerada para Sorocaba (Tarifa), a geração anual em kWh do sistema de energia solar fotovoltaica (G.Ene anual), as receitas e as despesas do sistema (Receitas/Despesas), a diferença entre as receitas e as despesas (Resultado), a soma dos resultados ao longo do tempo (Saldo), o Valor Presente dos Resultados (Vp) e, por fim, o Fluxo de Caixa do projeto (Fcd) ao longo da vida útil de 25 anos. Assim, a Tabela 3 apresenta a base de dados para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do *payback* do projeto para a residência localizada na cidade de Sorocaba no estado de São Paulo.

Tabela 3 - Valores base para o cálculo do VPL, da TIR e do *payback*

Ano	Inv. (R\$)	Tarifa (R\$/kWh)	G.ene anual (kWh)	Receitas (R\$)	Despesas (R\$)	Resultado (R\$)	Saldo (R\$)	Vp (R\$)	Fcd (R\$)
0	- 29.893,25		14.256	-	-	- 29.893,25	- 29.893,25	- 29.893,25	- 29.893,25
1	0,00	0,81	14.113	11.431,89	1.494,66	9.937,23	- 19.956,02	8.872,52	- 21.020,73
2	0,00	0,86	14.036	12.051,15	1.569,39	10.481,76	- 9.474,26	8.355,99	- 12.664,73
3	0,00	0,91	13.959	12.703,96	1.647,86	11.056,10	1.581,84	7.869,51	- 4.795,22
4	0,00	0,96	13.882	13.392,14	1.730,26	11.661,88	13.243,72	7.411,34	2.616,12
5	0,00	1,02	13.805	14.117,59	1.816,77	12.300,82	25.544,54	6.979,82	9.595,93
6	0,00	1,08	13.730	14.882,34	1.907,61	12.974,73	38.519,27	6.573,40	16.169,33
7	0,00	1,15	13.654	15.688,51	2.002,99	13.685,53	52.204,79	6.190,64	22.359,97
8	0,00	1,22	13.579	16.538,36	2.103,14	14.435,22	66.640,02	5.830,15	28.190,12
9	0,00	1,29	13.504	17.434,24	2.208,29	15.225,95	81.865,97	5.490,63	33.680,75

Ano	Inv. (R\$)	Tarifa (R\$/ kWh)	G.ene anual (kWh)	Receitas (R\$)	Despesas (R\$)	Resultado (R\$)	Saldo (R\$)	Vp (R\$)	Fcd (R\$)
10	0,00	1,37	13.430	18.378,66	2.318,71	16.059,95	97.925,92	5.170,87	38.851,62
11	0,00	1,45	13.356	19.374,23	2.434,64	16.939,59	114.865,50	4.869,73	43.721,35
12	0,00	1,54	13.283	20.423,73	2.556,38	17.867,36	132.732,86	4.586,11	48.307,45
13	0,00	1,63	13.210	21.530,08	2.684,19	18.845,89	151.578,75	4.318,99	52.626,44
14	0,00	1,73	13.137	22.696,37	2.818,40	19.877,96	171.456,71	4.067,43	56.693,87
15	- 13.830,97	1,83	13.065	23.925,83	13.830,97	10.094,86	181.551,57	1.844,29	58.538,16
16	0,00	1,94	12.993	25.221,89	3.107,29	22.114,60	203.666,18	3.607,37	62.145,53
17	0,00	2,06	12.921	26.588,16	3.262,66	23.325,51	226.991,68	3.397,23	65.542,76
18	0,00	2,18	12.850	28.028,44	3.425,79	24.602,66	251.594,34	3.199,32	68.742,08
19	0,00	2,31	12.780	29.546,75	3.597,08	25.949,67	277.544,01	3.012,93	71.755,01
20	0,00	2,45	12.709	31.147,29	3.776,93	27.370,36	304.914,37	2.837,40	74.592,41
21	0,00	2,60	12.639	32.834,54	3.965,78	28.868,76	333.783,13	2.672,08	77.264,49
22	0,00	2,75	12.570	34.613,19	4.164,07	30.449,12	364.232,25	2.516,39	79.780,88
23	0,00	2,92	12.501	36.488,18	4.372,27	32.115,91	396.348,17	2.369,77	82.150,65
24	0,00	3,09	12.432	38.464,75	4.590,88	33.873,87	430.222,04	2.231,68	84.382,33
25	0,00	3,28	12.364	40.548,39	4.820,43	35.727,96	465.949,99	2.101,64	86.483,97

Investimentos (Inv.); tarifa de energia elétrica de Sorocaba (Tarifa); geração de energia anual (G.Ene anual); receitas e despesas do sistema (Receitas/Despesas); diferença entre as receitas e as despesas (Resultado); soma dos resultados (Saldo); Valor presente dos resultados (Vp); Fluxo de caixa do projeto (Fcd).

Fonte: resultado da pesquisa.

O Valor Presente Líquido (VPL) do projeto é obtido pelo somatório do ano zero ao ano 25 do Valor presente (Vp) apresentado na Tabela 3, sendo estimado em R\$ 86.483,97. Valores maiores do que zero para este indicador implicam que o projeto de energia solar residencial considerado foi capaz de gerar um fluxo de caixa positivo e que as receitas ao longo dos 25 anos de vida útil foram superiores aos custos de implementação e manutenção do sistema. A Taxa Interna de Retorno (TIR) calculada para o projeto de energia solar residencial foi de 39% ao ano, sendo sensivelmente superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Em 2023 observou-se uma redução dos custos dos equipamentos necessários a implementação do sistema de energia solar. Isso foi impulsionado pelo excesso de oferta dos equipamentos, juntamente com a queda do frete internacional e a estabilização do câmbio. Além disso, a diminuição do acesso ao crédito e a recente regulamentação do setor contribuíram para a queda nos preços dos equipamentos para sistemas desta natureza. Esses fatores combinados resultaram em uma redução no período de *payback*.

Para o sistema de energia solar do estudo de caso apresentado, o *payback* para uma implantação realizada com recursos próprios foi de aproximadamente 3 anos. Esse tempo é compatível com o obtido em outros estudos como Souza *et al.* (2023), Matias e Cardoso (2023) e Ventura (2020) e pode ser considerado bastante curto. Isso indica que o investimento inicial na implantação do sistema de energia solar pode ser recuperado rapidamente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas fotovoltaicos residenciais apresentam um potencial significativo para a geração de energia limpa e renovável, sendo uma alternativa promissora para suprir as necessidades energéticas e uma possibilidade de gerar economia a longo prazo à medida que pode reduzir o dispêndio familiar com eletricidade.

Do ponto de vista das famílias, o uso de energia solar permite que seja evitada parte das flutuações nos preços da alíquota da energia, gerando maior previsibilidade no orçamento familiar. Ademais, o estudo de viabilidade econômica revelou que diante das reduções dos custos dos equipamentos atrelado aos avanços tecnológicos, o tempo de retorno do investimento tende a diminuir ao longo do tempo.

Com base nos indicadores calculados, pode-se concluir que o sistema de energia solar analisado apresentou viabilidade econômica, validando a premissa de ser um investimento com retorno superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Os cálculos indicaram que, para um sistema de 8kWp, levando em consideração que o investimento seja realizado com 100% de recursos próprios, existe um potencial de retorno financeiro favorável.

A comparação entre os dois indicadores de custo nivelado de energia calculados (LCOE simples e LCOE descontado) para a energia solar e a alíquota do kWh demonstra o potencial de viabilidade econômica do projeto do estudo de caso para Sorocaba. O valor do custo nivelado de energia (LCOE) em comparação com a alíquota do kWh, demonstrou o potencial de economia com a implantação do sistema.

Ao analisar os indicadores econômicos, como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), constatou-se que o sistema de energia solar em questão apresenta viabilidade. O Valor Presente Líquido (VPL) positivo indica que o fluxo de caixa estimado ao longo da vida útil do sistema foi superior ao investimento inicial, demonstrando que o investimento é viável. Além disso, a Taxa Interna de Retorno (TIR) é maior do que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), reforçando a viabilidade do investimento no sistema de energia solar para o município de Sorocaba.

No que diz respeito ao tempo de retorno do investimento ou *payback*, o sistema de energia solar analisado também pode ser considerado viável, com um período de *payback* de três anos. Essa recuperação relativamente rápida do investimento inicial foi influenciada pelo custo dos equipamentos, pelo custo da instalação do sistema e pelo custo da manutenção do sistema, bem como pela ausência de financiamento considerada na análise.

Na comparação dos resultados deste estudo com estudos mais antigos como Cabral e Vieira (2014) e Nakabayashi (2014) e, para o futuro, espera-se que a constante evolução tecnológica torne os sistemas residenciais de geração fotovoltaica cada vez mais eficientes. Além disso, o contínuo barateamento da tecnologia tem contribuído para a crescente viabilidade econômico-financeira dos projetos. No caso do Brasil, onde a abundância de luz solar é uma realidade para grande parte do território, essas duas tendências combinadas devem facilitar a adoção generalizada destes equipamentos em residências nas próximas décadas.

Pesquisas futuras sobre a viabilidade da energia solar podem abordar a comparação da viabilidade de instalação destes sistemas de acordo com as particularidades de cada região

ao considerar o preço da tarifa de energia, o horário de consumo e a média de exposição do sistema, bem como a irradiação da região. Outra questão relevante é avaliar se os resultados se mantêm caso se considere o uso de recursos financeiros de fontes externas em contraposição ao uso de recursos inteiramente de origem própria como nesta pesquisa.

Por fim, cabe destacar algumas limitações relacionadas a este estudo. Primeiro, os resultados apresentados são restritos ao estudo de caso considerado, o qual é bastante particular, pois se baseia em uma residência padrão com consumo médio, localizada em uma região específica. Segundo, trata-se de uma simulação que apresenta diversas simplificações. Além disso, embora utilize indicadores financeiros tradicionais, esses indicadores podem não capturar completamente todos os aspectos relevantes da viabilidade econômica, como riscos financeiros ou externalidades não monetárias.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÁICA – ABSOLAR. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

BEZERRA, A. B.; BASTOS, A. T.; BIZARRIA, F. P. A. Energia Solar fotovoltaica e desenvolvimento sustentável no estado do Ceará: Identificando Categorias De Análise. **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade (AOS)**, v. 10, n. 1, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.17648/aos.v10i1.2154>>. Acesso em: 13 de jun. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Guia de Habilitação Eólica. 2004. Disponível em: <https://q.eletrabras.com/pt/AreasdeAtuacao/programas/proinfa/guia_eolica_final.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília, 2008. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa nº 482, DE 17 de abril de 2012. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2023.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 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); altera as Leis n. 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm>. Acesso em: 30 de ago. 2023.

BRASIL. Relatório final do GT Solar Fotovoltaico. 2018. Disponível em <<http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITARIO/sdci/2018-Relatorio-GTFotovoltaicoCamex.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2023.

BUDEL, D. A. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em residências.** Trabalho de conclusão de curso de graduação. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p. 46. 2017. Disponível em <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/11686>>. Acesso em: 17 de jun. 2024.

CABRAL, I.; VIEIRA, R. Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente. In: **III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.** 2012. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-003.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

CANADIAN SOLAR INC. **Painel 545Wp Canadian:** PV Module Product Datasheet V1.1_EN. Guelph, Ontario, Canadá: Canadian Solar Inc., julho de 2020. Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com>>. Acesso em: 25 jan. 2023.

CASARIN, R. **Portal Solar.** Longi Solar atinge marca de 25,09% de eficiência em célula solar. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/equipamentos-fv/longi-solar-atinge-marca-de-25-09-de-eficiencia-em-celula-solar>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

CASARIN, R. **Com excesso de oferta, preço do silício policristalino entra em colapso.** 2023. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias>>. Acesso em: 24 jun. 2023.

DA SILVA, L. M. **Comparação dos custos de geração de energia elétrica entre tecnologias despacháveis e intermitentes no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Economia)– Escola de Pós-graduação em Economia, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro. p. 47. 2017. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/10438/18285>>. Acesso em: 17 de jun. 2024.

DA SILVA JÚNIOR, O. C.; STEINER, M. G. **Estudo técnico e econômico para instalação de painéis fotovoltaicos no Centro de Convivência da UniSATC.** Centro Universitário UniSATC, 2022. Disponível em: <<http://repositorio.satc.edu.br/handle/satc/530>>. Acesso em: 28 de ago. 2023.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2018. Texto para Discussão. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/handle/10419/211339>>. Acesso em: 10 de jun. 2024.

DIAMANDIS, P. **Solar energy revolution:** a massive opportunity. 2014. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/09/02/solar-energy-revolution-a-massive-opportunity/#56994e866c90>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

DE SOUSA, M. C.; BATISTA, L. M.; FIEL, L. G.; NETO, A. M.; FREITAS, K. M.; PEREIRA, R.S.; MARQUES, G. T.; CHASE, O. A. Sistema Fotovoltaico “off grid” para comunidade ribeirinha na Região Insular de Belém-Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 9, p. 312-324, 2021. Disponível em: <<https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/6217/3301>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 07 de jun. 2024.

FEDRIZZI, M. C.; SAUER, I. L. Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos. **Anais do 4º Encontro de Energia no Meio Rural**. 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022002000100034&script=sci_arttext>. Acesso em: 13 de jun. 2024.

FONTES, Y. M. Energia em alto mar: considerações sobre a implantação de usinas solares offshore e seus efeitos. **Pensar Acadêmico**, v. 20, n. 3, p. 716-723, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.21576/pa.2022v20i3.3503>>. Acesso em: 13 de jun. 2024.

FRANCISCO, E. R. **Indicadores de renda baseados em consumo de energia elétrica: abordagens domiciliar e regional na perspectiva da estatística espacial**. 2010. Tese de Doutorado (Administração de Empresas) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, p. 382. 2010. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/10438/8158>>. Acesso em: 13 de jun. 2024.

FREITAS, F. G.; BANDEIRA, A. C.; MAGNABOSCO, A. L. **Os impactos dos preços da energia elétrica e do gás natural no crescimento e desenvolvimento econômico**. Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres – ABRACE, julho 2022. Disponível em: <<http://qrco.de/pesodaenergia>>. Acesso em: 04 de set. 2023.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. **Dados – Matriz energética**. 2020. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

GARCIA, M. R. **Características dos cabos para instalações fotovoltaicas**. 2021. Disponível em: <<https://revistapotencia.com.br/portal-potencia/instalacoes-eletricas/caracteristicas-dos-cabos-para-instalacoes-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

GREENER. **Estudo Estratégico de Geração Distribuída do Mercado Fotovoltaico**. Fevereiro 2023. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

HEIN, H. **Gargalo: financiamento para energia solar deve destravar no 2º semestre.** 2023. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/gargalo-financiamento-para-energia-solar-deve-destravar-no-2o-semester/>>. Acesso em: 2 jun. 2023.

HCC ENERGIA SOLAR. **5 desafios do mercado de energia solar e como superá-los.** 20^a2a. Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/5-desafios-do-mercado-de-energia-solar-e-como-supera-los/>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

HCC ENERGIA SOLAR. **Quais são os custos envolvidos para implantar a energia solar?** 2022b. Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/quais-sao-os-custos-envolvidos-para-implantar-a-energia-solar/>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

HCC ENERGIA SOLAR. **Conheça os benefícios econômicos da energia solar.** 2023. Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/beneficios-economicos-da-energia-solar/>>. Acesso em: 10 fev. 2023

KIKUMOTO, B. **O que é o LCOE e como utilizar nos projetos fotovoltaicos?** Publicado no Canal Solar, 2020. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/o-que-e-o-lcoe-e-como-utilizar-nos-projetos-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 25 mar. 2023.

MATIAS, D.; CARDOSO, S. C. **Análise de viabilidade técnica-econômica sobre um sistema de geração solar fotovoltaica.** 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Elétrica), Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/35444>>. Acesso em: 14 set. 2023.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: Condições atuais e perspectivas futuras.** Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 107. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/D.106.2014.tde-26012015-141237>>. Acesso em: 17 de jun. 2024.

NERIS, A. **Quanto duram os inversores residenciais.** Aldo Blog, 2021. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/blog/quanto-duram-os-inversores-residenciais/>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

PORTAL SOLAR. **Tudo Sobre a Manutenção do Pannel Solar e do Sistema Fotovoltaico.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-manutencao-do-pannel-solar#ancora5>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

RIBEIRO, A. L. **Energia Solar Fotovoltaica: Viabilidade no segmento residencial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, p. 101. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/827>>. Acesso em: 13 jun. 2024.

SANTOS, F. A.; SOUZA, C. A. de; DALFIOR, V. A. O. Energia Solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG. **Simpósio de excelência em Gestão e Tecnologia**, XIII, Rio de Janeiro, RJ, 2016. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/862456.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SAUER, I. L., QUEIROZ, M. S., MIRAGAYA, J. C. G., MASCARENHAS, R. C.; JÚNIOR, A. R. Q. Energias renováveis: ações e perspectivas na Petrobras. **Bahia Análise & Dados, Salvador**, v. 16, n. 1, p. 9-22, jun. 2006. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/tc_02.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios.** 2015. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166>>. Acesso em: 24 abr. 2023.

SOLFÁCIL. **Como calcular as perdas do sistema fotovoltaico?** 2023. Disponível em: <<https://blog.solfacil.com.br/energia-solar/como-calcular-as-perdas-do-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em: 25 jan. 2023.

SOUZA, G. R.; DA PENHA, R. S. Viabilidade econômica de um projeto de investimento de energia fotovoltaica. **RAGC**, v. 8, n. 35, 2020. Disponível em: <<https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/ragc/article/view/2076>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SOUZA, H. C. S.; MENDES, E. P.; PRADO, V. J. **Estudo de viabilidade econômica para implantação de sistema de energia solar fotovoltaica em uma indústria de madeira no Estado da Bahia.** 25 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química), Universidade de Salvador, Salvador, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/35741>>. Acesso em: 14 set. 2023.

TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p. il., tab., mapas. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.

VENTURA, L. M. **Energia solar e seus benefícios: Análise e medição de resultados.** 33 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade de educação e meio ambiente, Ariquemes, p.33. 2020. Disponível em: <<http://repositorio.faema.edu.br:8000/jspui/handle/123456789/2773>>. Acesso em: 14 set. 2023.