



IMPACTO DO CUSTO DE CAPITAL NA VIABILIDADE FINANCEIRA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Vinícius de Faria Paula¹
Marcelo Nunes Fonseca²
Fernando Nunes Belchior³
Victor Eduardo de Mello Valério⁴

RESUMO

Objetivo: O objetivo é avaliar o impacto do custo de capital e a viabilidade financeira de um projeto de sistemas fotovoltaicos, por meio de uma análise da construção de uma usina para geração de energia em uma *holding* gestora de empresas de cosméticos brasileira.

Referencial Teórico: Destacam-se teorias sobre as fontes renováveis de energia no Brasil, a Geração Distribuída e os critérios de análises de investimentos, fornecendo uma base sólida para a compreensão do contexto da investigação.

Método: A metodologia proposta consiste em 4 fases, iniciando com a etapa de planejamento, onde é formulado e analisado o problema a ser estudado. Em seguida é feito a modelagem do estudo, onde será definida as variáveis a serem analisadas e a coleta de dados. Na etapa de experimentação, foi feito os cálculos e análises para, na etapa final, auxiliarem na tomada de decisão.

Resultados e Discussão: Os resultados revelaram que o projeto é viável economicamente, e que as principais variáveis que impactam no VPL é o prêmio de risco e de mercado e o preço da tarifa de energia.

Implicações da Pesquisa: As implicações práticas e teóricas desta pesquisa são discutidas, fornecendo insights sobre como os resultados podem ser aplicados ou influenciar práticas no campo da Engenharia Econômica e da Sustentabilidade. Essas implicações podem abranger as áreas de análises de investimentos, de fontes renováveis de energia e viabilidade financeira de projetos.

Originalidade/Valor: Este estudo contribui para a literatura ao realizar análises do custo de capital e do prêmio de risco em projetos de viabilidade financeira na área de fontes renováveis de energia. A relevância e o valor desta pesquisa são evidenciados por identificar as variáveis que podem impactar nos projetos de grande escala.

Palavras-chave: Análise de investimento, custo de capital, viabilidade financeira, energia renovável, sistema fotovoltaico.

IMPACT OF CAPITAL COST ON THE FINANCIAL VIABILITY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM

ABSTRACT

Objective: The objective is to evaluate the impact of capital cost and the financial viability of a photovoltaic system project through an analysis of the construction of a power plant for energy generation in a Brazilian cosmetics company holding.

¹ Universidade Federal de Goiás, Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. E-mail: viniciusfaria@ufg.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1088-7448>

² Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: marcelo.fonseca@mackenzie.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3651-8747>

³ Universidade Federal de Goiás, Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. E-mail: fnbelchior@ufg.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1385-3374>

⁴ Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, Brasil. E-mail: victor.dmv@unifei.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4127-5951>



Theoretical Framework: The study highlights theories on renewable energy sources in Brazil, Distributed Generation, and investment analysis criteria, providing a solid foundation for understanding the research context.

Method: The proposed methodology consists of 4 phases, starting with the planning stage, where the problem to be studied is formulated and analyzed. Next, the study is modeled, defining the variables to be analyzed and data collection. In the experimentation phase, calculations and analyses were performed to, in the final stage, assist in decision-making.

Results and Discussion: The results revealed that the project is economically viable and that the main variables impacting NPV are the risk and market premium and the energy tariff price. In the risk analysis, it was observed that the project has low risk, and its execution is recommended.

Research Implications: The practical and theoretical implications of this research are discussed, providing insights into how the results can be applied or influence practices in the field of Economic Engineering and Sustainability. These implications may encompass investment analysis, renewable energy sources, and project financial viability.

Originality/Value: This study contributes to the literature by analyzing capital cost and risk premium in financial feasibility projects in the renewable energy sector. The relevance and value of this research are evidenced by identifying variables that may impact large-scale projects.

Keywords: Investment analysis, capital cost, financial viability, renewable energy, photovoltaic system.

IMPACTO DEL COSTO DE CAPITAL EN LA VIABILIDAD FINANCIERA DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

RESUMEN

Objetivo: El objetivo es evaluar el impacto del coste de capital y la viabilidad financiera de un proyecto de sistemas fotovoltaicos, mediante un análisis de la construcción de una planta de generación de energía en una holding gestora de empresas de cosméticos brasileña.

Marco Teórico: Se destacan teorías sobre las fuentes renovables de energía en Brasil, la Generación Distribuida y los criterios de análisis de inversiones, proporcionando una base sólida para la comprensión del contexto de la investigación.

Método: La metodología propuesta consta de 4 fases, comenzando con la etapa de planificación, donde se formula y analiza el problema a estudiar. Luego, se realiza el modelado del estudio, definiendo las variables a analizar y la recolección de datos. En la fase de experimentación, se realizaron cálculos y análisis para, en la etapa final, auxiliar en la toma de decisiones.

Resultados y Discusión: los resultados revelaron que el proyecto es económicamente viable y que las principales variables que impactan en el VAN son el premio de riesgo y de mercado y el precio de la tarifa de energía. En el análisis de riesgo, se observó que el proyecto tiene bajo riesgo, recomendándose su ejecución.

Implicaciones de la investigación: Se discuten las implicaciones prácticas y teóricas de esta investigación, proporcionando insights sobre cómo los resultados pueden aplicarse o influir en prácticas del campo de la Ingeniería Económica y la Sostenibilidad. Estas implicaciones pueden abarcar áreas como análisis de inversiones, fuentes renovables de energía y viabilidad financiera de proyectos.

Originalidad/Valor: Este estudio contribuye a la literatura al realizar análisis del coste de capital y del premio de riesgo en proyectos de viabilidad financiera en el área de fuentes renovables de energía. La relevancia y el valor de esta investigación se evidencian al identificar variables que pueden impactar en proyectos a gran escala.

Palabras clave: Análisis de inversión, coste de capital, viabilidad financiera, energía renovable, sistema fotovoltaico.



RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 INTRODUÇÃO

A energia é fator essencial para o desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida das sociedades atuais (SINGH, 2002). Consequentemente, obter esse recurso de maneira sustentável e competitiva é crucial (TSOUTSOS *et al.*, 2005). De acordo com Pereira *et al.* (2006), complementado por Santos *et al.* (2015), com o aumento constante da demanda de energia ao longo dos anos, somado à redução da oferta de combustíveis convencionais e à crescente preocupação ambiental são incentivos a pesquisar e desenvolver fontes alternativas de energia menos poluentes e renováveis.

Atualmente os sistemas fotovoltaicos têm se transformado em uma realidade mais acessível. Este fato ocorre devido ao preço dos módulos fotovoltaicos que vem reduzindo com o avanço tecnológico e com a ascensão do mercado consumidor, já que se torna uma energia alternativa bastante procurada pelos consumidores. Assim, com o aumento do interesse por sistemas fotovoltaicos e, consequentemente, há um aumento na demanda por essa tecnologia, estimulando cada vez mais à produção e, ao aumentar a escala, há uma redução nos custos para os consumidores. Segundo a IRENA (2018), a energia solar fotovoltaica vem se tornando cada vez mais competitiva a partir da redução do seu custo.

Neste contexto, a partir da necessidade de ampliar o acesso dos consumidores à energia renovável em busca de sustentabilidade e menores custos, surgiu a Geração Distribuída (GD). Essa modalidade de geração significa que os consumidores podem produzir sua própria energia a partir de fontes renováveis como, sol (energia fotovoltaica) e vento (energia eólica), e inserir o excedente na rede elétrica. Dessa forma, a geração distribuída traz inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade. A GD também é relevante devido a intermitência da energia fotovoltaica, funcionando como uma espécie de “bateria” para o período da noite, pois o excedente produzido ao longo do dia é compensado com o seu uso ao anoitecer. Além disso, a GD pode trazer benefícios ao sistema elétrico, como: adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição; baixo impacto ambiental; a redução na carga das redes; redução de perdas; e diversificação da matriz energética (ANEEL, 2015).



No Brasil, com o crescimento das tarifas elétricas os consumidores estão tendo o interesse em instalar sistemas fotovoltaicos para a produção de energia elétrica, com objetivo de beneficiar os negócios através da redução dos custos, proporcionado pelo uso dessa ferramenta solar (SEBRAE, 2017). Além disso, esse tipo de sistema incentiva as práticas sustentáveis da empresa, por configurar-se como uma tecnologia menos agressiva ao meio ambiente, favorecendo assim, a sua cadeia de valor.

Diante disso, entende-se que a análise da viabilidade econômica deve ser realizada com procedimentos e parâmetros que indiquem com clareza os retornos sobre os investimentos. Com isso, todas as informações devem ser analisadas cuidadosamente para não comprometer o patrimônio do empreendimento por longo prazo, evitando assim prejuízos para o investidor (HOJI, 2012).

Nesse contexto, o investimento em projetos envolve custos para a empresa. O custo total de capital de uma empresa representa as expectativas mínimas de remuneração das diversas fontes de financiamento (próprias e de terceiros) lastreando suas operações. É um conceito essencial para toda decisão financeira e pode ser entendido como o retorno médio exigido para toda a empresa. O custo de capital para uma empresa pode ser usado como uma medida de avaliação da atratividade econômica de um investimento, de referência para a análise de desempenho e viabilidade operacional e de definição de uma estrutura ótima de capital. Assim, a empresa ao buscar investir em determinado projeto, receber um retorno que cubra pelo menos o investimento feito, acrescido de um bônus pelo risco inerente. Autores como Modigliani e Miller (1958), Jensen e Meckling (1976), Kenney (1995), Pratt (1998), Copeland, Koller e Murrin (2002), Assaf Neto (2004) argumentam sobre o assunto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL

Energia renovável é uma expressão usada no objetivo de descrever uma grande gama de fontes de energia que são disponibilizadas na natureza de forma cíclica. As fontes renováveis podem ser utilizadas para diversos fins, como a geração de eletricidade, gerar calor, produzir combustíveis líquidos, dentre outros.

O desenvolvimento de fontes alternativas de energia renovável não se limita apenas ao atendimento a compromissos ou obrigações ambientais, mas também busca desenvolver tecnologias no país, com o objetivo de se reduzir a dependência de tecnologias já existentes,



que possuem alto custo de implantação e manutenção, para a produção de energia renovável. Outro fator muito importante é reduzir a demanda de energia das fontes tradicionais, além de ganhos econômicos com fontes alternativas com menor custo (BNDES, 2005).

A geração de energia a partir da luz se baseia no efeito fotovoltaico produzido por dispositivos fabricados com materiais semicondutores, chamados células fotovoltaicas, que apresentam uma diferença de potencial entre seus polos quando expostos à radiação solar. Dessa forma, a energia solar fotovoltaica é resultante da conversão direta da iluminação do sol em energia elétrica (RUTHER, 2004).

O efeito fotovoltaico é a conversão direta da luz em energia elétrica por materiais semicondutores, chamados células fotovoltaicas. Pannel fotovoltaico é uma combinação de células fotovoltaicas, com as mesmas características. Para fornecer a potência requerida à carga, os painéis são arranjados em série e paralelo, fornecendo tensão e corrente contínua variável, devido às mudanças nos valores de irradiação solar ao longo do dia.

2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD)

Geração Distribuída (GD) é definida como o uso isolado ou integrado de recursos de pequeno porte por concessionárias, consumidores e terceiros, de forma que haja um beneficiamento ao sistema elétrico e/ou a consumidores específicos (OLADE, 2011). Essa geração pode ser entendida pelos setores produtores de energia de todo o mundo como sendo a produção de energia próxima do centro consumidor. Entretanto, a sua origem está relacionada ao início da produção de energia elétrica, a partir da década de 1940, antes da viabilização de geração, transmissão e distribuição de energia.

Olade (2011) mostra que a GD oferece diversas vantagens para o setor elétrico. Como a unidade geradora se localizar próxima a unidade consumidora, haverá uma diminuição das perdas que estão associadas ao transporte da energia elétrica, além de representar uma maior diversificação das tecnologias utilizadas na produção de energia.

Entretanto, a introdução de novas fontes de energia pode gerar algumas complicações, tanto econômicas, técnicas e normativas, que devem ser solucionadas. Dentre os problemas econômicos, destaca-se o fato de que já foi feito um grande investimento em infraestrutura de rede por parte dos agentes transmissores e dos distribuidores. E a GD impacta diretamente nesses agentes, pois eles veem sua receita cair em consequência a menor quantidade de venda de energia, pois quando há outros produtores, o consumo de energia oferecida pela distribuidora será menor e, conseqüentemente, terão uma receita menor, sem diminuir seus custos. Outro



problema resultante de fatores econômicos é identificar qual será o real retorno econômico que esses investimentos em fontes menores de produção geram aos seus investidores.

E ao se falar de GD no Brasil, desde o seu início em 2012, pode-se afirmar que a energia fotovoltaica vem se tornando cada vez mais utilizada, tendo crescido exponencialmente desde então. De acordo com estudos realizados pela Greener (2022), o número de instalações fotovoltaicas conectadas à rede e o número de unidades consumidoras receptoras de créditos chegou a 803.893 instalações e 1.012,500 unidades. Quanto ao volume acumulado conectado à rede, o ano de 2021 representou crescimento de 51,8% em capacidade instalada em relação ao ano de 2020. A título de comparação, em 2012 o volume era, aproximadamente, de 1 MW. Já em 2021, o volume acumulado chegou à 8.591 MW.

A GD no Brasil começou a ser discutida na Lei nº 10.848/04, a qual a inclui como uma das alternativas como fontes de geração produtoras de energia. Em 2012, com a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, foram inseridos inúmeros avanços nas normativas, permitindo um considerável avanço na geração distribuída no sistema elétrico brasileiro, onde se estabeleceram inúmeras condições gerais para o acesso de micro e mini geração distribuída à rede elétrica e foi introduzido o sistema de compensação elétrica, onde micro geração distribuída foi definida como sistemas de geração distribuída abaixo de 100 kW e mini geração distribuída para sistemas entre 100 kW à 1 MW.

Em seguida, vieram outras normas que complementaram esta resolução, como a Resolução nº 517/2012, a Resolução nº 687/2015, onde foi alterado consideravelmente a Resolução nº 482/2012, onde os limites de micro geração passou a ser abaixo de 75 kW e mini geração entre 75 kW e 5 MW. Houve também a Resolução nº 676/2015, que trata especificadamente da produção de energia fotovoltaica, estabelecendo critérios de autorização a conexão das mesmas à rede elétrica para centrais geradoras acima de 5MW.

Muitas discussões estão sendo feitas a respeito de qual a melhor forma de conduzir os sistemas de geração distribuída sem que seja penoso para as concessionárias, nem aos consumidores, nem as empresas do setor, desse modo as formas de compensação, autorização e conexão devem ser alteradas o que cria uma instabilidade normativa que aumenta o risco regulatório do setor. Por ser de difícil mensuração os riscos avaliados no investimento de sistemas fotovoltaicos não contemplaram o risco regulatório (FERNANDES, 2023).



2.3 CRITÉRIOS DE ANÁLISES DE INVESTIMENTOS

Segundo Marquezan (2006), para a geração de riquezas é necessária a realização de investimentos com intuito de obtenção de retornos lucrativos para o investidor. Para tal, é necessário que esses retornos sejam maiores que os custos de capital empregados, tornando os valores líquidos dos resultados positivos, crescendo riqueza para o investidor e para os beneficiários do investimento (DA SILVA, 2023).

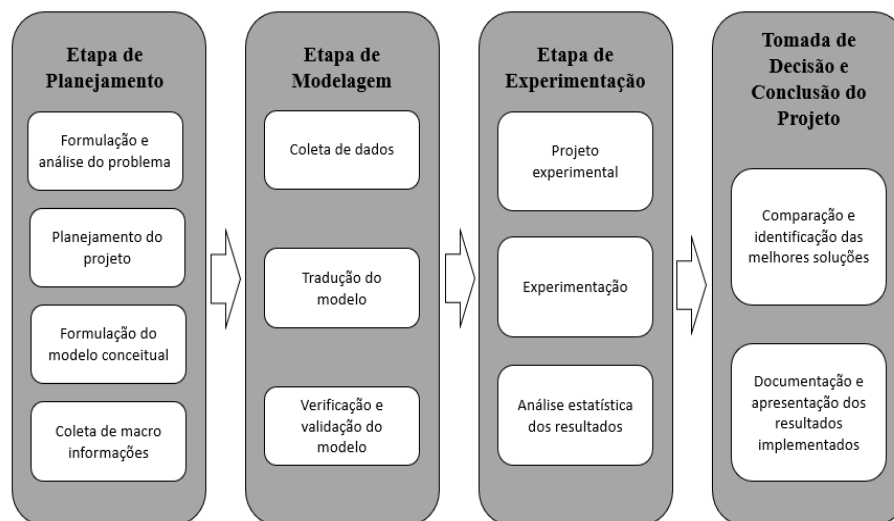
Dentre os critérios utilizados para analisar a viabilidade econômica de um projeto, destaca-se a o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e o *Payback* Descontado (PBD).

3 METODOLOGIA

Esse estudo é caracterizado por utilizar conhecimentos e técnicas referentes à área de engenharia econômica na resolução de problemas relacionados à tomada de decisão e análise de viabilidade econômica em projetos que abrangem à Engenharia de Produção. Assim, faz-se necessário desenvolver uma análise sobre a classificação dessa pesquisa e os métodos aplicados. A partir da descrição dos problemas e os objetivos de pesquisa, serão detalhadas as etapas que constituem esse trabalho, os procedimentos adotados e as técnicas utilizadas para a realização deste estudo.

3.1 CONSTRUÇÃO DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A construção da modelagem e simulação desse estudo pode ser dividida em quatro etapas: fase de planejamento; modelagem; experimentação; e tomada de decisão e conclusão do projeto, conforme o estudo feito por Freitas (2008), conforme Figura 1.

**Figura 1***Fases de um estudo de modelagem e simulação*

Fonte: Adaptado de Freitas (2008).

- Etapa I – Planejamento

A primeira etapa sugerida pelo autor se inicia com a formulação e análise do problema, onde o objetivo é definir os objetivos do estudo a ser realizado. Nesse estudo, o objetivo é avaliar a viabilidade financeira de um projeto de sistemas fotovoltaicos, por meio de uma análise da construção de uma usina para geração de energia fotovoltaica. Em seguida, o planejamento do projeto envolve uma pesquisa para assegurar que os recursos e requisitos para a realização do estudo estão disponíveis. O terceiro passo é a formulação do modelo conceitual, sendo necessário a montagem de um esboço do sistema, onde define-se o objetivo, as variáveis envolvidas e os possíveis cenários. E no último passo é feita a coleta de macro informações, que tem como objetivo alimentar os parâmetros do sistema modelado.

- Etapa II – Modelagem

A segunda etapa tem início com a coleta de dados relacionados ao estudo. Dessa forma, a partir das variáveis definidas na etapa anterior foram coletados os valores das variáveis envolvidas no estudo.

A partir dessa coleta, é possível realizar a tradução do modelo, transformando-o em um modelo capaz de se realizar as simulações, onde a previsão alvo da análise será o VPL do projeto, a TIR e também o impacto do custo de capital nessas variáveis de previsão. Após a execução desse passo, é feita uma verificação e validação do modelo, com o objetivo de identificar se há todas as variáveis necessárias para realizar a simulação além de verificar se o



modelo construído está de acordo com os objetivos do estudo e os possíveis resultados possuem validade e são representativos a um modelo real.

- Etapa III – Experimentação

A etapa experimental tem início com o projeto experimental, que consiste em propor um conjunto de experimentos que retornem as informações desejadas, tendo na sequência, a experimentação para executar as simulações, para assim gerar os dados desejados.

Após o cálculo da potência necessária da usina para suprir todo o consumo de energia, será calculado o CAPEX, ou seja, o valor monetário necessário que a empresa terá que dispor para conseguir implantar o sistema fotovoltaico. Em complemento a isso, será calculado o valor da tarifa de energia ao longo dos 25 anos de execução do projeto, considerando uma taxa de aumento da tarifa de energia anual e também a receita gerada em cada ano do projeto.

Em seguida será desenvolvido o fluxo de caixa do projeto e o fluxo de caixa descontado, considerando apenas o capital próprio. Dessa forma, a TMA considerada será calculada a partir do modelo do CAPM, onde será considerado o prêmio de risco e de mercado atual (FGV – EESP, 2022), no valor de 13,66%, o beta desalavancado proposto por Damodaran (2013), no valor de 0,43, e a taxa livre de risco (Damodaran, 2008). Assim, será obtido o Valor do Negócio, o VPL e a TIR, além da análise do *Payback* e do PBD.

Feito isso, o próximo passo será realizar as análises de sensibilidade. Dessa forma, serão definidas as variáveis estocásticas de entrada a serem analisadas e o seu respectivo impacto no VPL do projeto. O objetivo será identificar quais variáveis são mais sensíveis e mais interferem no VPL e, conseqüentemente, na viabilidade do projeto proposto. Assim, com a utilização do *software Crystal Ball®*, para as variáveis utilizadas atribui-se uma distribuição triangular de probabilidade, visto que as funções de pertinência triangular podem ser utilizadas para inserir a incerteza nos parâmetros de entrada e saída de um modelo, uma vez que representam bem a expertise humana em julgar corretamente o comportamento de variáveis comuns em diversas situações práticas. Dessa forma, será possível realizar análises individuais de determinadas variáveis, com o objetivo de perceber qual o real impacto no VPL do projeto e também no TIR.

- Etapa IV – Tomada de decisão e conclusão do projeto

A última etapa é composta pela comparação de sistemas e identificação das melhores soluções, registros e apresentação dos resultados obtidos. E partindo do princípio da modelagem e simulação, que é identificar as diferenças existentes entre as diversas alternativas e cenários possíveis, é possível identificar quais são as melhores alternativas e que mais se encaixam problema de estudo. Assim, para o tomador de decisão, será possível identificar os riscos



inerentes ao projeto, o seu retorno ao longo dos anos, o quanto de retorno se terá e se realmente se trata de um bom investimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE FINANCEIRA

Para a instalação da usina geradora de energia fotovoltaica será considerado o consumo de energia em uma das maiores redes de franquia de cosméticos e perfumes brasileira. E neste estudo será avaliada a viabilidade econômica de se investir em uma usina fotovoltaica onde o objetivo é suprir a necessidade energética de 33 lojas da mesma rede.

Sabendo que o consumo anual médio é de, aproximadamente, 780.000 kWh/ano, tem-se que o consumo médio mensal equivale à 65.000 kWh/mês. Descontando-se a taxa mínima cobrada pela disponibilidade (33 lojas no sistema trifásico), tem-se o consumo médio efetivo mensal de 61.700 kWh/mês.

Assim, o consumo médio efetivo diário é de 2.056,67 kWh/dia. Como a quantidade de horas de sol por dia é de 5,275, e considerando uma eficiência da usina de 80%, tem-se que a potência é de 487,36 kW. Ainda sobre a dimensão da usina fotovoltaica, a geração de energia média prevista é de 786.135,93 kWh/ano, sendo considerado um desvio padrão de 78.613,593 kWh/ano (10% da geração).

Para o dimensionamento do custo do projeto solicitou-se um orçamento com uma empresa fornecedora do sistema fotovoltaico. Por se tratar de uma demanda muito alta, de uma empresa proprietária de 33 lojas, foi realizada a soma dos consumos de cada loja, sendo necessária a instalação de uma usina com potência de 487,36 kWp para conseguir suprir todo o consumo. Dessa forma, a usina tem como objetivo suprir todo o consumo previsto para o tempo do projeto, previsto para 25 anos, pagando mensalmente apenas o valor da fatura mínima, tido pela disponibilidade.

Assim, o custo total do projeto de acordo com o orçamento feito é de R\$ 2.652.515,17. Esse custo é composto pelo investimento na usina, no valor de R\$ 1.881.216,43, e investimentos em subestações e na conexão, no valor de R\$ 771.298,74.

Complementado os custos que envolvem esse projeto, há o custo de Operação e Manutenção, também chamado de OPEX (*Operational Expenditure*) que é equivalente, segundo a fornecedora responsável pelo orçamento da usina, à 3% do valor total do investimento, também chamado de CAPEX (*Capital Expenditure*), ao ano. Ainda, considera-



se o custo com seguros, que são de aproximadamente R\$ 34.115,32 por ano. Para efeito de tributação, uma vez que a empresa é enquadrada no Lucro Real, a alíquota média considerada é de 34%. Por fim, se faz necessária uma compra de um inversor adicional, no 12º ano de execução do projeto, no valor de R\$ 149.539,50.

O valor médio da tarifa é de R\$ 0,867890 por kWh. E, para esse projeto, foi considerado um aumento real do valor da tarifa de 4,78% ao ano, a contar a partir do ano 1 do projeto.

Assim, para conseguir estimar a receita que a utilização dessa usina fotovoltaica pode gerar, é preciso calcular a economia efetiva que será gerada. O consumo prevista médio compensado por ano é de 784.924,64 kWh. Dessa forma, considerando que o objetivo é suprir toda a demanda de energia das empresas, a economia efetiva passa a ser o próprio valor do consumo, e considerando os dados referentes ao valor da tarifa ao longo dos anos, a receita anual (sendo definida pela economia de custo que a empresa terá ao pagar apenas a taxa de disponibilidade como fatura de energia) é mostrado na Tabela 1. Esta tabela apresenta, também, o fluxo de caixa e o fluxo de caixa descontado, para os primeiros 25 anos.

Tabela 1

Receita gerada em cada ano pelo projeto, juntamente com o fluxo de caixa e fluxo de caixa descontado

Ano	Receita	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado
0	-	R\$ (2.686.631,85)	R\$ (2.686.631,85)
1	R\$ 713.521,44	R\$ 343.509,29	R\$ 308.589,33
2	R\$ 747.627,76	R\$ 363.515,76	R\$ 293.364,83
3	R\$ 783.364,37	R\$ 384.478,53	R\$ 278.740,01
4	R\$ 820.809,18	R\$ 406.443,32	R\$ 264.709,56
5	R\$ 860.043,86	R\$ 429.458,03	R\$ 251.265,44
6	R\$ 901.153,96	R\$ 453.572,84	R\$ 238.397,38
7	R\$ 944.229,12	R\$ 478.840,34	R\$ 226.093,24
8	R\$ 989.363,27	R\$ 505.315,62	R\$ 214.339,39
9	R\$ 1.036.654,84	R\$ 533.056,43	R\$ 203.121,01
10	R\$ 1.086.206,94	R\$ 562.123,24	R\$ 192.422,40
11	R\$ 1.138.127,63	R\$ 592.579,45	R\$ 182.227,15
12	R\$ 1.192.530,13	R\$ 627.813,74	R\$ 172.472,97
13	R\$ 1.249.533,07	R\$ 667.928,88	R\$ 163.278,97
14	R\$ 1.309.260,75	R\$ 713.964,60	R\$ 154.491,56
15	R\$ 1.371.843,41	R\$ 766.675,02	R\$ 146.138,82
16	R\$ 1.437.417,53	R\$ 826.640,21	R\$ 138.203,49
17	R\$ 1.506.126,09	R\$ 895.444,03	R\$ 130.668,50
18	R\$ 1.578.118,91	R\$ 973.674,37	R\$ 123.516,99
19	R\$ 1.653.553,00	R\$ 1.062.923,32	R\$ 116.732,44
20	R\$ 1.732.592,83	R\$ 1.164.287,38	R\$ 110.298,70
21	R\$ 1.815.410,77	R\$ 1.279.867,63	R\$ 104.199,99
22	R\$ 1.902.187,40	R\$ 1.409.770,02	R\$ 98.420,99
23	R\$ 1.993.111,96	R\$ 1.564.105,55	R\$ 92.946,83
24	R\$ 2.088.382,71	R\$ 1.749.990,51	R\$ 87.763,12
25	R\$ 2.188.207,41	R\$ 1.981.062,89	R\$ 84.399,61



Fonte: Autor.

Assim, pode-se observar o valor da receita obtida com a execução do projeto ao longo dos anos, considerando os valores de geração de energia, consumo previsto e valor da tarifa de energia conforme apresentados.

Conforme mostrado pela Tabela 1, o projeto já possui um fluxo positivo do início até o final dos 25 anos. Assim, nessa situação, esse projeto possui um valor de negócio em R\$ 4.330.802,74, um VPL de R\$ 1.644.170,89 e uma TIR de 17,3417% ao ano ao ano, conforme exibido na Tabela 2. A TMA foi calculada a partir do modelo CAPM, sendo no valor de 16,39%. Assim sendo, pode-se afirmar que o projeto é economicamente viável, pois possui um VPL maior do que zero e uma TIR maior do que a TMA.

Tabela 2

Valores do Valor do Negócio, VPL e TIR

Valor do negócio	R\$ 4.330.802,74
VPL	R\$ 1.644.170,89
TIR	17,3417%

Fonte: Autor.

A partir do Fluxo de Caixa e do Fluxo de Caixa Descontado, é possível identificar quando acontecerá o *Payback* e o PBD do projeto. Analisando o Fluxo de Caixa, observa-se que o *Payback* ocorrerá no ano 8 de execução do projeto. Já quando é feita a análise do FCD, pode-se observar que o PBD ocorrerá a partir do ano 13 do projeto. Dessa forma, a partir dos resultados de *Payback* e PBD, o projeto torna-se atrativo, pois possui um tempo de retorno inferior em relação ao tempo total de execução da usina fotovoltaica.

Portanto, pode-se afirmar que o projeto é viável economicamente, pois possui um VPL maior do que zero e uma TIR maior que a TMA, dentro do cenário analisado, sendo considerado apenas os investimentos na empresa por meio do capital próprio.

4.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

O primeiro passo para realizar a análise de sensibilidade do projeto é definir quais variáveis serão analisadas. Nessa análise, as variáveis estocásticas definidas para este estudo são: Prêmio de Risco e de Mercado, Taxa de Aumento Anual da Tarifa de Energia, Valor da Tarifa, Consumo Anual Médio, CAPEX, OPEX e o Grau de Alavancagem, tendo como previsão alvo o Valor Presente Líquido do projeto.



Em relação aos custos do combustível e custos dos sistemas fotovoltaicos, atribui-se uma distribuição triangular de probabilidade, visto que as funções de pertinência triangular podem ser utilizadas para inserir a incerteza nos parâmetros de entrada e saída de um modelo, uma vez que representam bem a expertise humana em julgar corretamente o comportamento de variáveis comuns em diversas situações práticas.

Desse modo, os parâmetros da distribuição triangular (valor otimista, valor provável e valor pessimista) são estabelecidos com base nas informações obtidas de cada uma das variáveis. Para os valores do prêmio de risco e de mercado, foram utilizados os dados dos últimos 5 anos (FGV – EESP, 2022), sendo considerado o cenário pessimista o maior valor atingido no período e para o valor otimista o menor valor, sendo o valor esperado referente ao mês de abril de 2022. Para a taxa de aumento anual da tarifa, foi considerado o valor pessimista de 4,0% e o valor otimista com um aumento de 20%. Para o valor da tarifa de energia, o cenário otimista prevê um aumento de 10%. Em relação ao OPEX, foi informado pela empresa onde foi feito o orçamento para a implantação da usina, que os custos podem variar de 1% até 5% ao ano. O grau de alavancagem considerado será o intervalo de 0% até 80%. E em relação ao grau de alavancagem, foi considerado a taxa de juros no valor de 11,63% ao ano, sendo o tempo de amortização de 12 anos com uma carência para se iniciar o pagamento de 2 anos, utilizando o sistema SAC de financiamento. E, por fim, para o CAPEX e para o consumo anual médio, foi considerado uma variação de 10% para ambos os cenários. Os valores utilizados como informações de entrada no modelo desenvolvido são indicados na Tabela 3. Para essa análise, para cada uma das variáveis, utilizou-se as funções dos gráficos Tornado e *Spider*, com um intervalo de testes de 10% a 90%, no *software Crystal Ball®*.

Tabela 3

Distribuição triangular das variáveis selecionadas

Variável	Valor Pessimista	Valor Provável	Valor Otimista
Prêmio de risco e de mercado	18,09%	13,66%	5,75%
Taxa de aumento anual da tarifa	4,00%	4,78%	5,74%
Valor da tarifa	R\$ 0,86789	R\$ 0,86789	R\$ 0,95468
OPEX	5,00%	3,00%	1,00%
Grau de alavancagem	0,00%	40,00%	80,00%
CAPEX	R\$ 2.917.768,17	R\$ 2.652.516,52	R\$ 2.387.264,87
Consumo anual médio de energia	706.162,176 kWh	784.624,64 kWh	863.087,104 kWh

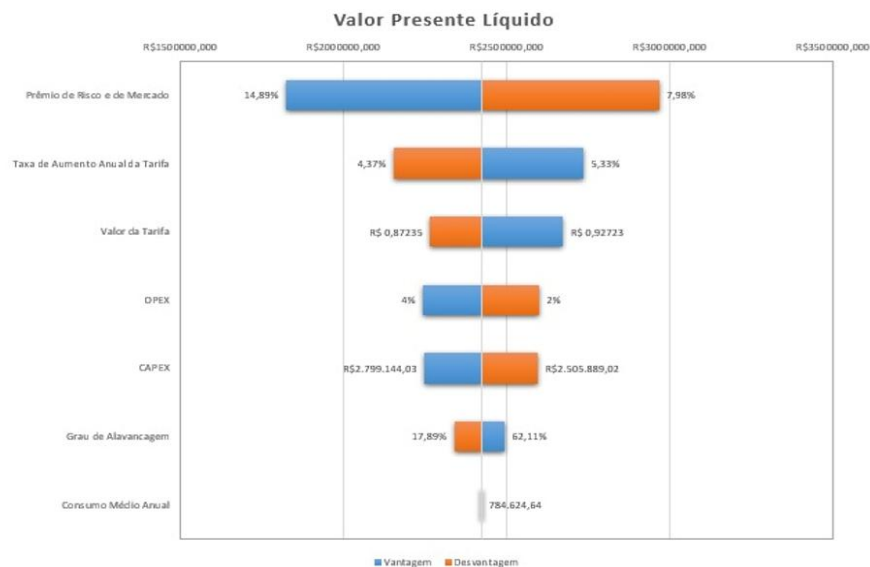
Fonte: Autor.

Assim, nas Figura 2 e Figura 3 é possível ver os resultados obtidos com a análise de sensibilidade no Gráfico Tornado e no Gráfico *Spider*, respectivamente.



Figura 2

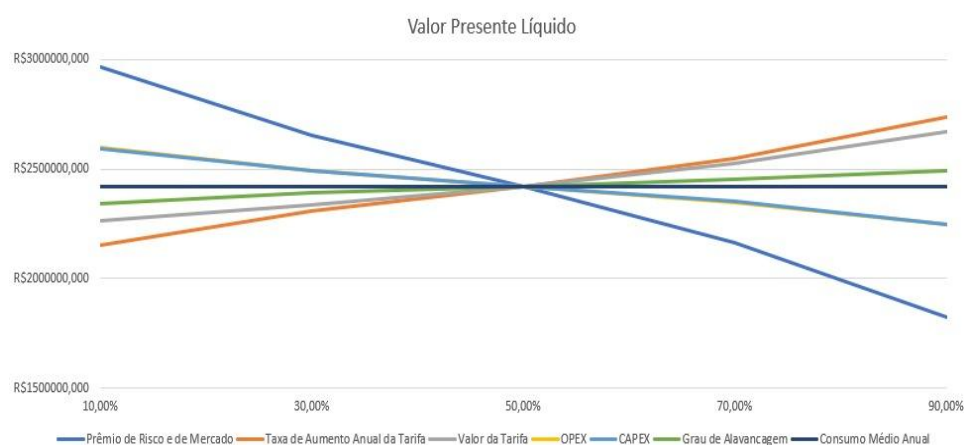
Análise de sensibilidade (Gráfico Tornado)



Fonte: Autor.

Figura 3

Análise de sensibilidade (Gráfico Spider)



Fonte: Autor.

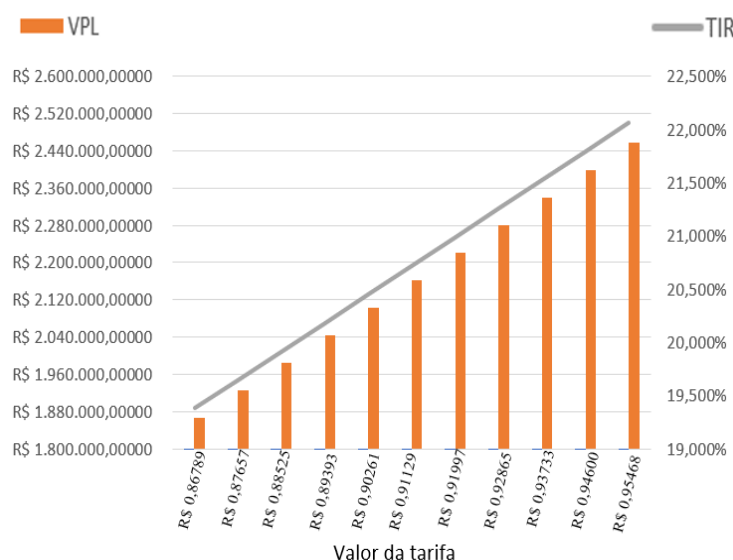
A partir da análise dos gráficos Tornado e *Spider* obtidos com a análise de sensibilidade, observa-se que as variáveis que tiveram maior impacto no VPL do projeto são: Prêmio de Risco e de Mercado, Taxa de Aumento Anual da Tarifa de Energia e o Valor da Tarifa de Energia. Com um impacto intermediário, há o OPEX, o CAPEX e o Grau de Alavancagem. E, por fim, com uma influência pequena no VPL do projeto, têm-se o consumo anual médio, podendo até ser desconsiderado para a análise de risco do projeto.



A partir da obtenção desses dados, foi feita uma análise do impacto individual que cada uma dessas variáveis possui no projeto. Começando pelo valor da tarifa, a Figura 4 mostra o impacto que a variação desse valor gera no VPL e na TIR do projeto.

Figura 4

Impacto do Valor da tarifa em relação ao VPL e a TIR



Fonte: Autor.

Na Figura 4 é possível observar a alteração do VPL e na TIR de acordo com a alteração do valor da tarifa. Isso mostra que, com a tarifa aumentando ao longo dos anos, o projeto vai se tornando cada vez mais viável, pois com o aumento da tarifa o custo que se teria com a utilização da energia de forma convencional seria maior, já s os investimentos não se alteram, o que fazer com que o ganho em relação ao que seria pago no uso da energia convencional seja cada vez maior. No cenário atual do projeto, o custo da tarifa é de R\$ 0,86789, gerando assim um VPL no valor de R\$ 1.866.549,84 e uma TIR de 19,380% ao ano, considerando o valor provável de 40% no grau de alavancagem. Já no melhor cenário em relação à viabilidade do projeto, onde a tarifa teria um aumento de 10% em relação ao valor atual, a tarifa teria o valor de R\$ 0,95468, tendo como consequência um VPL no valor de R\$ 2.457.176,23 e uma TIR de 22,060%, representando um aumento no VPL de 31,64% e na TIR de 13,83%, aproximadamente.

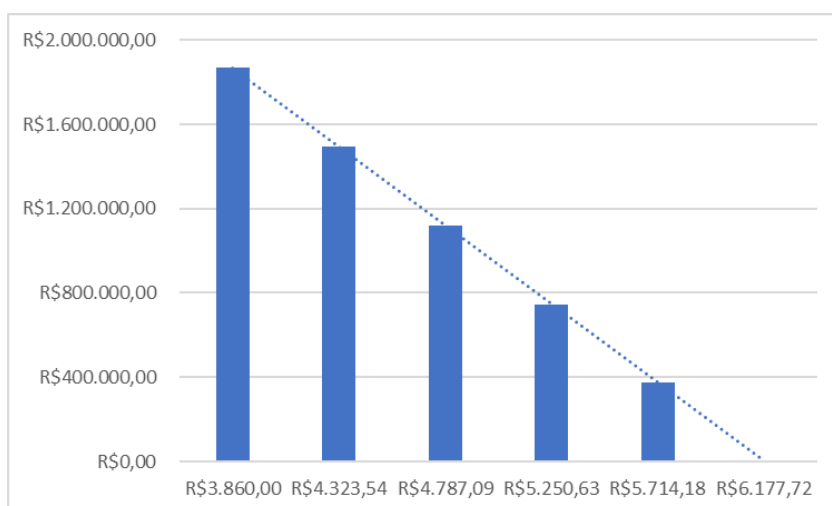
Por fim, se faz interessante também analisar qual o impacto no VPL na alteração do preço do kWp para a potência calculada anteriormente da usina. Com o valor do kWp em R\$



3.860,00, tem-se um VLP do projeto de R\$ 1.866.549,84. A Figura 5 mostra o comportamento do VPL a partir da alteração de valor do investimento por kWp.

Figura 5

Comportamento do VPL em relação aos valores por kWp



Fonte: Autor.

Dessa forma, através da Figura 5, pode-se observar que o máximo valor que pode ser cobrado por kWp para que o projeto ainda continue sendo viável economicamente é de R\$ 6.177,72. Qualquer outro valor acima disso, o VPL do projeto será menor que zero, o tornando inviável economicamente.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de realizar um estudo sobre a viabilidade de um projeto de sistemas fotovoltaicos, considerando o impacto que variáveis econômicas podem ter no projeto, por meio de um estudo de viabilidade econômica da geração fotovoltaica em uma empresa multinacional brasileira. E esse estudo se justifica pois com o crescimento e popularização de fontes alternativas de energia, se faz necessário realizar e entender sobre os custos relacionados, a viabilidade desses projetos, o quão rentáveis podem ser e quais os riscos associados.

Pôde-se concluir que o projeto proposto a ser estudado nesse trabalho foi desenvolvido e obteve-se êxito nas análises realizadas. Portanto, pode-se afirmar que o projeto é sim viável economicamente, podendo, portanto, ser recomendado para a execução do projeto da usina fotovoltaica.



Portanto, espera-se também que a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho possa ser aplicável em diferentes projetos de análise de viabilidade financeira e análises de sensibilidade, relacionados a fontes de energia alternativas.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2012). *Resolução Normativa N° 482*.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2012). *Resolução Normativa N° 517*.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2015). *Resolução Normativa N° 676*.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2015). *Resolução Normativa N° 687*.
- Assaf Neto, A. (2004). *Contribuição ao estudo da avaliação de empresas no Brasil: uma aplicação prática* [Tese de Livre Docência]. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.
- Banco Nacional do Desenvolvimento Setorial (BNDES). (2005). *Rio de Janeiro*, n. 21, 5-30.
- Copeland, T., Koller, T., & Murrin, J. (2002). *Avaliação de empresas: calculando e gerenciando o valor das empresas* (3ª ed.). Makron Books.
- Damodaran, A. (2008). *What is the risk-free rate? A search for the basic building block*. Stern School of Business.
- Damodaran, A. (2013). Equity risk premiums (ERP): Determinants, estimation and implications—The 2012 edition. In *Managing and Measuring Risk: Emerging Global Standards and Regulations After the Financial Crisis* (pp. 343-455).
- DA SILVA, F. C. A.; BELCHIOR, F. N.; FONSECA, M. N., *Análise aplicada a sistemas fotovoltaicos off-grid em processos industriais na zona rural*. Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, p. 2676-2679, 2023.
- FERNANDES, J. E. S.; BELCHIOR, F. N.; DOMINGOS, J. L., *Desafios regulatórios à promoção da fonte solar fotovoltaica no Brasil*. Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, p. 3003-3006, 2023.
- Freitas Filho, P. J. (2008). *Introdução a modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena* (2ª ed.). Visual Books.
- Fundação Getúlio Vargas – Escola de Economia de São Paulo (FGV – EESP). (2022). *Centro de Estudos Quantitativos em Economia e Finanças, Dados do Equity Risk Premium para o Brasil*.
- Greener. (2022). *Estudo Estratégico Geração Distribuída. Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída – 2º Semestre de 2021 – Brasil*.
- Hoji, M. (2012). *Administração Financeira: uma abordagem prática* (5ª ed.). Atlas.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2018). *Renewable Power Generation*



Costs. <https://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-power-generation-costs-in-2017>

- Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305-360.
- Kenney, M. (1995). Business enterprise value: The debate continues. *The Appraisal Journal*, 1(1), 33-40.
- Marquezan, L. H. F. (2006). Análise de Investimentos. *Revista Eletrônica de Contabilidade Curso de Ciências Contábeis*, 3(1).
- Modigliani, F., & Miller, M. H. (1958). The cost of capital, corporation finance, and the theory of investment. *American Economic Review*, 48(3), 261-297.
- Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (2011). *Curso de la geración distribuída*. Saba System.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., & Ruther, R. (2006). *Atlas Brasileiro de Energia Solar* (1ª ed.). INPE.
- Presidência da República. (2004). *Lei nº 10.848*. Brasil.
- Pratt, S. P. (1998). *Cost of capital: Estimation and applications*. John Wiley & Sons.
- Rüther, R. (2004). *Edifícios solares fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil*. LABSOLAR.
- Santos, I. F. S., Filho, G. L., & Barros, R. M. (2015). Análises Econômicas, de Sensibilidade e Elasticidade em Projetos de Energias Renováveis no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*, 21(2).
- SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2017). *Cadeia de Valor da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil*.
- Singh, J. M. (2002). *On Farm Energy Use Pattern in Different Cropping Systems in Haryana, India* [Tese de Mestrado]. International Institute of Management, University of Flensburg.
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33(3), 289-296.