

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALISSON CESAR ABRANTES

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA:
UMA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA UMA
RESIDÊNCIA NA CIDADE DE CURITIBA.

CURITIBA

2019

ALISSON CESAR ABRANTES

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA:
UMA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA UMA
RESIDÊNCIA NA CIDADE DE CURITIBA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização MBA em Finanças, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Finanças.

Orientador: Prof. MSc. Marcelo Tardelli.

CURITIBA

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de ter adquirido esta experiência e acumulado ainda mais conhecimento.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador Professor MSc. Marcelo Tardelli pelo incentivo, paciência e dedicação de seu escasso tempo na orientação do meu projeto de pesquisa.

Agradeço também aos Professores da Universidade Federal do Paraná, especialmente ao Professor Dr. Rodrigo Oliveira Soares, pela elevada qualidade do ensino oferecido no Curso de Especialização MBA em Finanças.

RESUMO

A crescente demanda por energia elétrica e o alto custo da eletricidade no Brasil, tem despertado o interesse de usuários que desejam reduzir os gastos com energia em suas residências. Assim, o sistema de geração de energia fotovoltaica tem se revelado como uma alternativa viável para uma efetiva redução de custos. Este estudo tem o objetivo de realizar uma análise econômico-financeira, avaliando a viabilidade da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica em uma residência na região de Curitiba, utilizando-se de ferramentas financeiras como, o *Payback* Descontado, o VPL (Valor Presente Líquido) e a TIR (Taxa Interna de Retorno), a uma taxa de desconto, a qual se denominou TMA (Taxa Mínima de Atratividade). Na metodologia, por meio de um estudo de caso de caráter exploratório, utilizou-se um referencial teórico pertinente ao tema proposto, com referências sobre sistema fotovoltaico e análise econômico-financeira assim como análise documental, organizado e tratado com a ferramenta Excel. Desta forma, foram alcançadas conclusões significativas quanto à viabilidade do projeto, revelando que o investimento pode ser considerado plausível na perspectiva de aspectos econômico-financeiros.

Palavras-chave: Estudo de Viabilidade Econômico-financeira. Energia fotovoltaica. Análise Financeira de Projetos. Energia Solar. Sistema *On-Grid*.

ABSTRACT

The growing demand for electricity and the high cost of electricity in Brazil has attracted the interest of users who wish to reduce their energy costs in their homes. Thus, the photovoltaic power generation system has proved to be a viable alternative for this effective cost reduction. This study aims to perform an economic and financial analysis, evaluating the feasibility of implementing a photovoltaic power generation system in a residence in the Curitiba region, using financial tools such as Discounted Payback, NPV (Net Present Value), and IRR (Internal Rate of Return), at a discount rate, which was called TMA (Minimum Attractiveness Rate). In the methodology, through an exploratory case study, we have used a theoretical referential pertinent to the proposed theme, with references on photovoltaic system and economic-financial analysis as well as document analysis, organized and treated through Excel. Thus, significant conclusions have been reached regarding the viability of the project, revealing that the investment can be considered plausible from the perspective of economic and financial aspects.

Keywords: Economic and Financial Feasibility Study. Photovoltaics. Project Financial Analysis. Solar energy. On-Grid System.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - MÉDIA DA IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL (KWHM ² /DIA) – CURITIBA.....	244
---	-----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CONSUMO E GASTOS MENSAIS DA RESIDÊNCIA	33
QUADRO 2 – PLANILHA DE CÁLCULOS <i>PAYBACK</i> DESCONTADO	36
QUADRO 3 – RESULTADOS OBTIDOS	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – HISTÓRICO DOS REAJUSTES DA COPEL DOS DEZ ANOS.....	33
TABELA 2 - RESUMO DOS PARÂMETROS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE	34
TABELA 3– FLUXO DE CAIXA DO ANO 1 AO ANO 10	42
TABELA 4 – FLUXO DE CAIXA DO ANO 11 AO ANO20.....	42
TABELA 5– FLUXO DE CAIXA DO ANO 21 AO ANO 25.....	42
TABELA 6 – <i>PAYBACK</i> DESCONTADO DO ANO 1 AO ANO 10.....	43
TABELA 7 - <i>PAYBACK</i> DESCONTADO DO ANO 11 AO ANO 20.....	43
TABELA 8 – <i>PAYBACK</i> DESCONTADO DO ANO 21 AO ANO 25	43

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica.
CEIM	- Centro de Empresas e Inovação da Madeira.
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia.
CRECESB	- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.
CTA	- Centro Tecnológico de Aeronáutica.
EPE	- Empresa de Pesquisa de Energia.
INT	- Instituto Nacional de Tecnologia.
IPEA	- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
KWhm ²	- Quilowatt hora por metro quadrado.
KWp	- Quilowatt pico.
ODS	- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.
SELIC	- Sistema Especial de Liquidação e de Custódia.
SFVCR	- Sistema Fotovoltaico para Consumo Residencial.
TIR	- Taxa Interna de Retorno.
TMA	- Taxa Mínima de Atratividade.
VPL	- Valor Presente Líquido.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo geral.....	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 JUSTIFICATIVA.....	18
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA	21
2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO	21
2.3 IRRADIAÇÃO SOLAR	23
2.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
2.5 CÁLCULO DA INCIDÊNCIA MÉDIA DE IRRADIAÇÃO.	25
2.5.1 Quantidade de Módulos Fotovoltaicos.....	26
2.6 AVALIAÇÕES DE PROJETOS DE INVESTIMENTO.....	26
2.6.1 Análise de Investimento	26
2.6.1.1 Fluxos de Caixa Relevantes.....	26
2.7 INDICADORES FINANCEIROS.....	27
2.7.1 Valor Presente Líquido - VPL	27
2.7.2 Taxa Interna de Retorno - TIR.....	28
2.7.3 <i>Payback</i> Simples e <i>Payback</i> Descontado	29
3. PROCEDIMENTOS E MÉTODOS	30
3.1. TIPO DE ABORDAGEM DE PESQUISA: QUALITATIVA E EXPLORATÓRIA.	30
3.2. TIPO DE DELINEAMENTO DA PESQUISA: BIBLIOGRÁFICA, DOCUMENTAL, ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO- FINANCEIRA.....	30
3.3 COLETA DE DADOS.....	30
3.4 TRATAMENTO DOS DADOS: ANÁLISE DE CONTEÚDO E CÁLCULOS FINANCEIROS.....	31
4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	32
4.1. COMPONENTES PARA DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS	32
4.1.2. Quantidade de Módulos Fotovoltaicos	32

4.2.	COMPONENTES PARA A ANÁLISE FINANCEIRA.....	32
4.2.1	Taxas Consideradas e Suas Aplicações.	33
4.4	FLUXOS DE CAIXA DO PROJETO.....	34
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
5.1.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	38
	APÊNDICE I–FLUXO DE CAIXA.....	42
	APÊNDICE II – FLUXO DE CAIXA E <i>PAYBACK</i> DESCONTADO.....	43
	ANEXO I – EQUAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	44

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a energia solar tem despertado interesse dos pesquisadores desde a década de 50, tornando-se ainda mais intenso na década de 70 em função da crise do petróleo (TIEPOLO, *et al.*, 2017). Os primeiros sistemas fotovoltaicos interligados a rede de distribuição pública foram instalados na década de 90.

Hoje, a energia limpa faz parte dos principais assuntos da agenda 2030, discutido no Acordo de Paris. Apesar de o Brasil ocupar uma posição de destaque no mundo pela produção de energia limpa, somente 0,9% utilizam energia solar (BARBIERI, *et al.*, 2017), sendo que um número ainda mais reduzido é responsável por produzir sua própria energia a partir do sistema fotovoltaico (IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2019), enquanto a demanda por energia tem vindo a aumentar nos últimos anos, impulsionado pelo consumo de três principais setores, a indústria (35,9%), as residências (28,8%) e setor de serviços (19,0%) (EPE - Empresa de Pesquisa de Energia, 2018).

Essa demanda crescente por energia elétrica pode culminar no aumento das tarifas, assim como em anos anteriores (EPE, 2018). Esse fato faz com que muitos usuários busquem por alternativas para mitigar futuros riscos de um aumento excessivo de energia elétrica.

Contudo a implantação de um sistema fotovoltaico para produção de energia para residências está atrelada a outros fatores e intempéries como, a radiação solar e o clima, além dos fatores econômico-financeiros, que são objetos de análise deste estudo.

Alguns estudos sobre incidência solar realizados no Paraná apontam que o Estado tem um grande potencial de geração de energia fotovoltaica. Muito embora Curitiba receba a maioria dessa radiação como sendo difusa, apresenta um número significativo de horas de sol durante o ano (PINHO e GALDINO, 2014; TIEPOLO, *et al.*, 2017).

Os principais sistemas de energia solar utilizados no Brasil são para substituição de chuveiros elétricos e do aquecimento a gás, secagem de grãos, aquecimento de piscinas, água aquecida para limpeza em hospitais e hotéis (PEREIRA, *et al.*, 2017), utilizados a baixa temperatura, de até 100°C. Isso demonstra a preocupação do usuário em reduzir os gastos relacionados à residência, semelhantemente ao objetivo desse estudo.

Diante do exposto, por meio de uma análise econômico-financeira buscaram-se respostas para a possibilidade de implantação de sistema de energia fotovoltaica em uma residência em Curitiba, utilizando-se de ferramentas financeiras como, o *Payback* Descontado, o VPL (Valor Presente Líquido), a TIR (Taxa Interna de Retorno), a uma taxa de

desconto, que se denominou TMA (Taxa Mínima de Atratividade). Desta forma, foi possível estimar que o tempo de retorno do capital investido no projeto é de médio prazo.

Na metodologia, por meio de um estudo de caso de caráter exploratório, utilizou-se um referencial teórico pertinente ao tema proposto, com referências sobre sistema fotovoltaico e análise econômico-financeira assim como análise documental, organizado e tratado por meio do Excel.

Dessa forma foi possível chegar a conclusões significativas sobre a viabilidade do projeto, uma vez que o investimento pode ser considerado plausível na perspectiva de aspectos econômico-financeiros.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como a implantação de um sistema de energia fotovoltaica pode contribuir para a redução dos gastos globais de uma residência? Ou seja, é viável investir em energia solar para uma residência ou é melhor aplicar o capital em um fundo de renda fixa?

Há inúmeras perguntas que podem ser feitas quando o assunto é investir o capital próprio ou de terceiros em um ambiente político-econômico tão instável quanto o do Brasil. Principalmente em se tratando de um sistema de energia renovável, pouco explorado pelas concessionárias de energia do país, independentemente de fatores governamentais.

No Brasil, uma pessoa pode produzir a sua própria energia e não é obrigado a lançar a produção excedente na rede de distribuição. Hoje, o excedente de energia produzida em um sistema fotovoltaico para residências (sistema *On-Grid*, interligados à rede) passa a contar como um crédito em quantidade de energia (ANEEL, 2015).

Neste estudo, analisa-se a possibilidade de implantação de um sistema de geração de energia *On-Grid*, interligado à rede de distribuição, contudo, o projeto tem a limitação de não prever a produção de energia excedente, embora haja intenção de homologação do sistema junto a COPEL (Companhia Paranaense de Energia) para uma eventual expansão no volume gerado.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é avaliar, por meio de indicadores econômico-financeiros a viabilidade econômico-financeira da implantação de um sistema fotovoltaico em uma residência com quatro pessoas.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade econômica de um sistema de energia fotovoltaica em uma residência localizada em Curitiba.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão sobre a literatura atual sobre o tema.
- Calcular o *Payback*, VPL, TIR e TMA com o objetivo redução de despesas com energia elétrica em uma residência na cidade de Curitiba.
- Comparar com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) do mercado de investimento.
- Avaliar os indicadores obtidos para decisão sobre a recomendação do projeto.

1.3 JUSTIFICATIVA

Energia limpa e acessível é a meta de número sete, e faz parte das 169 metas dos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável acordadas em 2015, na Cúpula de Desenvolvimento Sustentável da Assembleia Geral das Nações Unidas, ou Acordo de Paris (IPEA - 2019).

Segundo o (IPEA, 2019, p. 8), “a geração de energia elétrica por fontes renováveis (hidráulica, eólica, biomassa, solar e outras) alcançou 80,4% da oferta total em 2017”. Entretanto, de 2003 a 2017 a participação de energia solar foi de 0,13%. Apesar disso, o Brasil ocupa uma posição destacada no mundo, pela produção de energia elétrica por meio de fontes renováveis. A meta estipulada pelo Brasil no Acordo de Paris é de expandir a sua participação até 2030, com pelo menos 45% de energias renováveis.

Por outro lado, no Brasil, apesar de 99,8% dos domicílios permanentes terem acesso à eletricidade, 0,2% dos totais das moradias permanentes brasileiras não tem nenhum acesso ao fornecimento de energia; e do total das residências permanentes, o equivalente a 0,3% dos domicílios geram a sua própria energia (IPEA, 2019).

A demanda por energia elétrica tem aumentado nos últimos anos. Apurou-se em 2017, que esse fenômeno tem ocorrido devido ao consumo de três principais setores, a indústria (35,9%), as residências (28,8%) e o setor de serviços (19,0%).

No entanto, em se tratando do consumo das famílias, acredita-se que esse aumento tem se intensificado devido à aquisição de mais aparelhos que demandam eletricidade, do aumento dos domicílios e de usuários nas residências. Uma projeção do governo para os próximos 15 anos, é que o consumo das residências pode vir a crescer 3,6% a.a., acompanhado do aumento de 1,5% a.a. dos domicílios (EPE, 2018).

Estima-se que o consumo de eletricidade na rede, no Brasil, cresça 3,6% a.a. até 2036. Um aumento superior esperado para as atividades econômicas, de 3,1% (EPE, 2018). Porém, acredita-se que esse consumo continue crescendo, de 2016 a 2017, por exemplo, o consumo médio nas residências passou de 157kWh/mês para 160 kWh/mês.

A demanda excessiva por energia elétrica, principalmente pelo crescimento da indústria, pode culminar no aumento da tarifa para consumidor final como já ocorreu em outros governos. Isso estimula os usuários a buscarem por conta própria a implantação de um sistema de geração energia solar. Neste caso, a implantação de um sistema fotovoltaico passa a ser uma alternativa estratégica para redução dos gastos com energia elétrica em suas residências.

Por outro lado, a implantação de um sistema fotovoltaico esbarra também na incidência de radiação solar, que pode variar ao longo do ano, dependendo da inclinação da terra em relação ao sol. Contudo, a captação e a conversão não dependem exclusivamente dessa incidência solar, mas também da radiação global e difusa do sol, da radiação direta normal e das condições atmosféricas e meteorológicas (CRECESB, 2008).

Atrelado a isso, alguns estudos realizados no Paraná apontam para a viabilidade econômico-financeira em projetos de implantação de sistemas fotovoltaicos em residências ou em áreas menores (SERAFIM JUNIOR, *et al.*, 2018; ROMERAL, LIMA e DALTO, 2017). No entanto, fatores como a incidência solar regional, o espaço das instalações, por exemplo, faz com que cada projeto exija uma análise de viabilidade econômico-financeira específica para cada projeto.

Estudos recentes sobre a irradiação solar no Paraná apontam que o Paraná possui um grande potencial de geração de energia fotovoltaica. A região mais próxima do litoral, como é o caso de Curitiba, tem uma média significativa de horas de sol pico (TIEPOLO, *et al.*, 2017), apesar de grande parte de irradiação ser de origem difusa (PINHO e GALDINO, 2014) conforme será abordado mais adiante, nesse trabalho.

Estudos que abordam a viabilidade econômico-financeira em residências são importantes, porque auxiliam na disseminação de informações sobre energia fotovoltaica, contribuindo para eliminar paradigmas junto à sociedade, expondo os seus efeitos benéficos,

sua estrutura e funcionamento, podendo inclusive, gerar conteúdo para outros trabalhos, assim como para efeitos de comparação de sua viabilidade econômico-financeira ao longo do tempo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Na revisão da literatura, faz-se uma exposição geral sobre assuntos que envolvem o tema desse trabalho, assuntos que embasam a busca pela resposta da problemática proposta neste para estudo. A incidência solar, tipos de sistemas fotovoltaicos para uso doméstico e viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos, são os principais assuntos. Este último traz um panorama geral extraído de estudos e outras fontes que expõem os paradigmas envolvidos nessa proposta.

2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Tendo como base a irradiação solar, a energia fotovoltaica é o resultado da conversão direta da luz em energia elétrica (PINHO e GALDINO, 2014), matéria-prima abundante no território brasileiro.

No Brasil, o interesse de pesquisadores pela energia fotovoltaica teve início nos anos 50, quando foram desenvolvidos os primeiros módulos fotovoltaicos no antigo Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e pelo Centro Tecnológico de Aeronáutica (CTA)¹. Duas décadas depois, nos anos 70, Brasil equiparava-se aos países pioneiros do mundo impulsionado pela crise do petróleo.

Os primeiros sistemas fotovoltaicos interligados a rede de distribuição pública foram instalados na década de 90. No entanto, a primeira regulamentação associada às unidades consumidoras foi a Normativa 482/2012, da ANEEL, que aborda a micro e a minigeração de energia, inferiores e superiores a 100kwp até 1mwp (PINHO e GALDINO, 2014).

2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

A utilização de energia solar para uso doméstico, em baixas temperaturas, corresponde a temperaturas abaixo de 100°C, é o processo mais simples e comum encontrado no Brasil, aproveitado principalmente na substituição de chuveiros elétricos e em sistemas de aquecimento a gás, secagem de grãos, aquecimento de piscinas, água aquecida para limpeza em hospitais e hotéis (PEREIRA, *et al.*, 2017). Já os sistemas que aquecem sob temperaturas

¹Hoje é denominado: Centro Técnico Aeroespacial.

a partir de 100C° até 400C° são mais utilizados na geração de energia (PINHO e GALDINO, 2014).

No Brasil há três tipos de sistemas: sistemas isolados (*Off-Grid*), híbridos e interligados a rede (*On-Grid*). Esse último redistribui a energia elétrica excedente, produzida pelo sistema fotovoltaico, lançando-a na rede de distribuição de energia (CRECESB, 2008; PINHO e GALDINO, 2014), a esse sistema dá-se o nome de sistema *On-Grid* (ANP, 2018), e sistema *Off-Grid* para aquele não utiliza a rede de distribuição pública.

Quanto ao custo de disponibilidade para os usuários que optam pelo sistema *On-grid*, a Resolução de nº 414 da ANEEL, de 09 de setembro de 2010, dá diretrizes sobre a utilização dos sistemas elétricos, monofásicos, bifásicos e trifásicos, estipulando normas de utilização e o valor monetário para o kWh utilizado na unidade consumidora.

O excedente gerado pelo sistema fotovoltaico da residência, por exemplo, é contabilizado pela distribuidora de eletricidade, contando como crédito, para uma futura utilização, podendo ser utilizado na residência ou em outro local de propriedade do usuário. Quanto à utilização dos créditos lançados na rede distribuidora, a Resolução da ANEEL de nº 687 de 24 de novembro de 2015, orienta que o usuário pode utilizá-los dentro do prazo de 60 meses, depois disso expiram, e o consumidor perde o direito de reclamá-los.

Portanto, optar pelo sistema *On-Grid* faz com que a produção excedente, ou créditos, dos meses de maior incidência solar possa vir a ser uma alternativa para sazonalidade climática. Isso porque a distribuidora de energia não taxa a produção excedente de energia. No entanto, ao homologar o sistema na distribuidora, o usuário fica obrigado a consumir os kWh mínimos de acordo com o tipo de ligação elétrica; aquele que utiliza a ligação monofásica fica obrigado a pagar pelo menos 30kWh/mês; Ligação Bifásica, 50kWh/mês, e Trifásico, 100kWh/mês (ANEEL, 2010).

O Brasil, apesar de suas muitas horas de sol por dia na maioria das regiões, ainda utiliza pouco a energia solar, considerada limpa e menos complexa que as demais. Apesar de ter um ambiente favorável para essa exploração, no Brasil somente 0,9% das residências utilizam energia solar, sendo que em Israel 94% dos domicílios utilizam energia solar (BARBIERI, *et al.*, 2017).

A disponibilidade de energia solar está associada às condições do tempo e do clima regional. O Paraná, por exemplo, está situado em uma das regiões do Brasil com menor intensidade de irradiação solar em kWh/m². Essa queda acentua-se principalmente, nos meses de abril a outubro, que são os meses mais suscetíveis a sazonalidades climáticas (TIEPOLO,

et al., 2017). Ainda assim, a região com o menor potencial de irradiação solar no Brasil, pode gerar mais eletricidade do que o local mais ensolarado da Alemanha (PEREIRA, *et al.*, 2017).

2.3 IRRADIAÇÃO SOLAR

A irradiação solar é um termo genérico para se referir a potência emanada pelos raios solares diretamente na superfície terrestre (PINHO e GALDINO, 2014).

Existem alguns inconvenientes climáticos particulares da região sul que são potenciais causadores de danos aos painéis fotovoltaicos. Outro fator são os aerossóis atmosféricos de origem antrópica. Eles atenuam a quantidade de radiação solar que chega à superfície, assim como a fuligem (PEREIRA, *et al.*, 2017).

Contudo, “o tempo de permanência dos aerossóis na atmosfera é maior durante a estação de seca em razão da menor retirada por processos de mistura e precipitação” (PEREIRA *et al.*, 2017, p. 23), por outro lado, em dias chuvosos, quando os aerossóis se encontram em menor concentração na atmosfera, os raios solares ficam sujeitos à nebulosidade.

A irradiação solar pode chegar à superfície da terra de forma direta ou difusa. Em dia de céu limpo, 20% da radiação são de origem difusa e 80% são diretas. Já em um dia nublado, a radiação é 100% difusa. Isso acontece quando a radiação alcança a terra depois de difundir-se, ao entrar em contato com a atmosfera terrestre, onde são afetadas pelos efeitos da absorção e espalhamento, podendo intensificar-se pela Massa de Ar, composta do ângulo zenital do sol, da distância da Terra-Sol e das condições climáticas e meteorológicas (PINHO e GALDINO, 2014).

Esses efeitos estão associados aos movimentos da Terra, que pressupõem diferentes inclinações ou ângulo ao longo do ano. Esses ângulos influenciam diretamente na eficiência e na qualidade da conversão de energia de um sistema fotovoltaicos, pois é a partir dessa inclinação que os raios irão chegar até as placas de captação solar (PINHO e GALDINO, 2014).

Conforme mencionado anteriormente quanto aos efeitos do clima sobre a irradiação solar, é importante destacar a tendência à variabilidade da irradiação solar interanual obtida nos períodos de 2005 e 2015 de radiação global horizontal (kW/hm²) no sul do Brasil, correspondem a 4,53/kwhm² dia, e 4,61kwhm² dia (PEREIRA, *et al.*, 2017). Especificamente no Paraná, os índices anuais de radiação apresentam a mínima de 3,55 kwhm² dia a 5,08 kwhm² dia, com média anual de 4,67 kwhm² dia e, para a região de Curitiba, a incidência

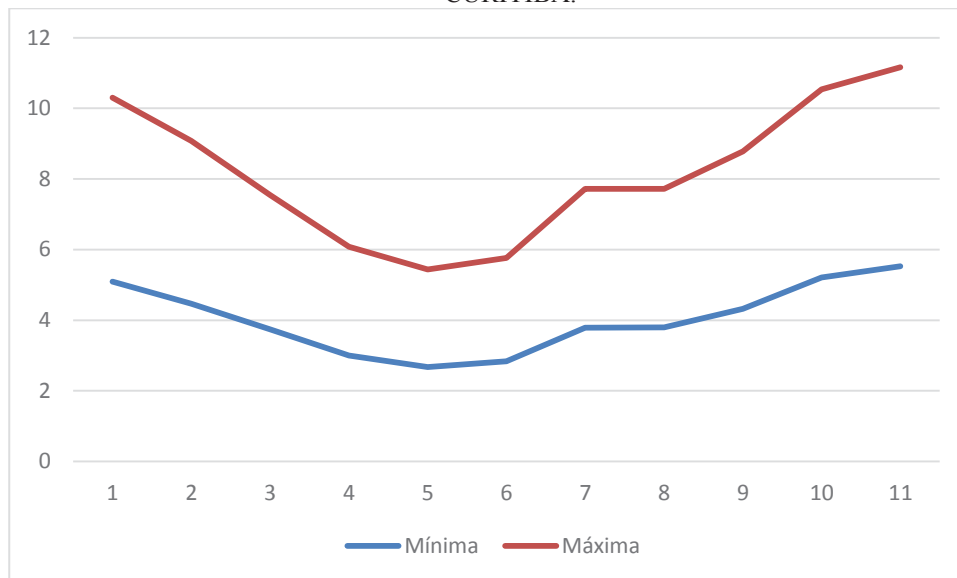
solar anual corresponde 4,17 kWhm² dia a 4,19 kWhm² dia, uma média de 4,19 kWhm² dia (TIEPOLO, *et al.*, 2017).

Portanto, é importante refletir sobre a sazonalidade da irradiação anual do Estado antes de iniciar o processo de implantação do sistema fotovoltaico, e considerar que a região sul do Paraná mantém as menores incidências de irradiação solar ao longo de todo ano. A mesorregião Metropolitana de Curitiba é uma das mesorregiões que apresentam um potencial menor de produção de energia fotovoltaica, juntamente com o Centro Oriental e Centro Sul do Estado (TIEPOLO *et al.*, 2017, p. 44).

Essa interferência sobre a irradiação solar, segundo Barbieri *et al.* (2017), é provocada pela umidade do Oceano Atlântico, que deixa a região de Curitiba com nebulosidade em grande parte dos dias do ano. Da mesma forma acontece com as regiões leste, sul e parte dos Campos Gerais (principalmente a região leste), que sofrem esse mesmo tipo de influência, fazendo com a maior parte da irradiação seja difusa.

Conforme apresentado no GRAFICO 1, os meses de abril, maio, junho e julho, agosto e setembro, são os meses de menor incidência solar, ficando abaixo de 4kwhm²/dia.

GRÁFICO 1 - MÉDIA DA IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL (KWHM²/DIA) – CURITIBA.



FONTE: Elaborado pelo autor (2019).

2.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento do sistema é um dos elementos mais importantes, principalmente quando a intenção é analisar a viabilidade econômico-financeira para a

implantação de um sistema fotovoltaico. O dimensionamento das placas constitui-se em determinar quantos módulos ou placas são necessários para gerar energia suficiente para atender a demanda de um determinado local. Sem a intenção de abordar em profundidade termos técnicos pertencentes ao sistema, cabe salientar que a produtividade de cada módulo depende de o sistema ser instalado em condições ideais de geração (TIEPOLO, *et al.*, 2017, p. 34).

Para realizar o dimensionamento das placas fotovoltaicas, são necessários alguns passos, como: calcular o consumo de energia na residência, determinar o tipo de ligação, se monofásica, bifásica ou trifásica, e da incidência média solar na região. O resultado determina a quantidade necessária de módulos fotovoltaicos e o desempenho global de cada módulo, isto é, a capacidade de geração de energia de cada módulo. A Equação (1), que se encontra no Anexo I, ilustra como foi determinado a quantidade de módulos fotovoltaicos e seus respectivos resultados.

2.5 CÁLCULO DA INCIDÊNCIA MÉDIA DE IRRADIAÇÃO.

Para determinar a energia gerada pela residência e para poder aplicá-la na fórmula, considera-se que Energia Gerada é o resultado da energia média utilizada na residência, menos os kWh referentes ao tipo de ligação existente, isto é, deve-se subtrair os valores referentes à ligação (Monofásico, Bifásico ou Trifásico), e em seguida, dividir o resultado por 30 dias. Já a Potência Nominal de cada módulo é dada da seguinte forma: Incidência solar (horas de sol pleno) na região multiplicada pelo rendimento do painel (TIEPOLO *et al.*, 2017).

O valor que representa as horas de sol pleno na região de Curitiba, ou a incidência solar em Curitiba, foi extraído do Atlas Solar do Paraná (TIEPOLO *et al.*, 2017).

O rendimento do inversor é evidenciado pela capacidade do inversor de transformar energia solar em energia elétrica. Porém, isso depende das características técnicas de cada inversor, normalmente em percentual. Entretanto, quando se tem as características técnicas do inversor fornecidas pelo fornecedor, pode-se obter o resultado da seguinte forma: a potência total gerada por cada módulo fotovoltaico multiplicado pelo percentual de rendimento do inversor. O resultado dessa equação é a Potência Total (PT) dos Painéis, que representa a potência máxima que as placas podem fornecer para o inversor (ROMANI, 2015).

Com esses dados em mãos, o último passo é determinar a quantidade de módulos necessários para gerar a energia previamente determinada.

2.5.1 Quantidade de Módulos Fotovoltaicos.

O cálculo para a obtenção das quantidades de módulos para fornecer a energia necessária para a residência é dada a partir da divisão da potência total pela potência de cada módulo, conforme apresentado na Equação 2 (ANEXO I). O resultado referente a quantidade de placas, pode ser arredondado de acordo com a necessidade do projeto.

2.6 AVALIAÇÕES DE PROJETOS DE INVESTIMENTO.

2.6.1 Análise de Investimento

Um dos principais fatores que levam empresas e investidores particulares a aplicarem o próprio capital em projetos de investimento é a agregação de valor. O risco de investimento com capital próprio, por vezes, acaba sendo menos vantajoso para o investidor, pois, sempre irão existir outras opções de investimento. Por isso, primeiramente, é importante verificar a viabilidade econômico-financeira do projeto, para saber se o projeto vai agregar o valor esperado para a empresa ou para um investidor particular.

2.6.1.1 Fluxos de Caixa Relevantes

No Fluxo de Caixa, do ponto de vista financeiro, enfatizam-se as entradas e saídas de dinheiro, integrados a alguns dos procedimentos mais importantes relacionado a finanças, presente na rotina de gestão financeira, no planejamento e nas decisões que dizem respeito à criação de valor. Seu objetivo é acompanhar a necessidade de caixa, mantendo-o com nível suficiente para suprir os compromissos relacionados a investimento, à medida em que surgirem (GITMAN, 2010).

Neste estudo, foi considerado os fluxos de caixa relevantes, “que são as saídas de caixa incremental (investimento) e as entradas resultantes e subsequentes” (GITMAN, 2010, p. 330). Esse tipo de fluxo de caixa representa entradas e saídas adicionais, daquilo que se espera alcançar quando se trata de um investimento de capital, explica o autor. Segundo Gitman (2010), a maioria dos projetos convencionais apresentam como principais componentes do fluxo de caixa: investimento inicial, entradas de caixa operacionais e o fluxo de caixa terminal.

O investimento inicial, leva em consideração o custo do ativo novo, que representa o valor necessário para adquirir o novo bem, juntamente com o custo de instalação (GITMAN, 2010). Nas entradas de caixa incrementais ou relevantes considera-se todo dinheiro disponível no caixa que pode ser gasto e não somente lucros contábeis. São incrementais porque se interessa apenas pelas entradas de caixa operacionais resultantes do projeto de investimento, explica o autor.

2.7 INDICADORES FINANCEIROS

O Fluxo de Caixa de um investimento leva em consideração técnicas de valor futuro e de valor presente, porém, cada um deles proporciona resultados diferentes (GITMAN, 2010). A técnica de valor futuro, por exemplo, representa o que haverá no caixa em algum momento do futuro, já o valor presente é o que está disponível em caixa no presente. São associados ao conceito de valor futuro, os juros compostos, de forma que as taxas utilizadas são atualizadas em cada período como juros sobre juros (GITMAN, 2010).

Para determinar a viabilidade da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica, foram utilizados os indicadores financeiros: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback* Simples e *Payback* descontado. Nos tópicos a seguir, haverá uma breve explicação sobre cada um dos indicadores utilizados.

2.7.1 Valor Presente Líquido - VPL

Segundo Gitman (2010), o VPL – Valor Presente Líquido é uma técnica sofisticada de orçamento de capital, que considera o valor do dinheiro no tempo, a partir do resultado de fluxos de caixa, incidindo sobre eles uma taxa diferenciada, que pode ser denominada de taxa de custo de capital da empresa, um retorno mínimo esperado para o projeto.

Em todos os projetos para investimento de longo prazo é necessário determinar o valor capital investido ao longo do tempo (GARRISON, NOREEN e BREWER, 2013). Se o retorno sobre o capital inicial investido for negativo, a implantação do projeto não é viável, caso seja positivo, o projeto é viável, explica os autores.

O VPL é um dos indicadores mais consistentes para avaliação de projetos financeiros em situações em que as entradas são conhecidas, auxiliando na tomada de decisão juntamente com outros indicadores como a TIR, por exemplo. Quando o VPL é maior que zero, ou seja, positivo, significa que o projeto é suficiente para cobrir o investimento inicial (GOMES,

2011). De acordo com (GITMAN, 2010), o VPL maior que zero significa que o projeto tem o retorno maior que o seu custo de capital, aumentando o valor da empresa no mercado. No entanto, dá-se preferência para investimento com retornos mais rápidos (GARRISON, NOREEN e BREWER, 2013).

2.7.2 Taxa Interna de Retorno - TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR), “é a taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento seja igual a zero” (GITMAN, 2010, p.371), igualando o valor presente das entradas ao investimento inicial.

A TIR atualiza os valores investidos futuros ao valor atual dos respectivos custos do projeto (GOMES, 2011). Esse método é utilizado, normalmente, quando as taxas de juros não são conhecidas, ou quando há uma ponderação entre a vida útil e o tempo de investimento, com uma distância considerável entre eles, explica Gomes (2011). A autora explica que a TIR pode ser comparada a outra taxa em vigor no mercado financeiro, como taxas de financiamentos bancários, por exemplo.

Neste caso, a adoção do método tem a ver com a decisão sobre o investimento em um determinado projeto ou em um fundo monetário, ou ainda, decisões entre projetos, considerando uma taxa mínima de atratividade (TMA) do mercado (GOMES, 2011). Quanto a TMA associada ao projeto, esta serve de parâmetro para as decisões de aceitação do projeto, ou não (BALARINE, 2004).

Quanto ao critério de decisão, se a TIR for maior do que o custo do capital investido, aceita-se o projeto, caso contrário, o projeto pode ser rejeitado (GITMAN, 2010). A TIR e o VPL se completam., porém, o VPL fornece o seu resultado em valores monetários, enquanto a TIR apresenta seus valores em percentual.

Contudo, segundo argumenta Gomes (2011) o emprego do VPL e da TIR, isoladamente, podem levar a decisões equivocadas. As classificações conflitantes relacionadas a VPL e a TIR, “resultam de diferenças de magnitude e momento de ocorrência dos fluxos de caixa” (GITMAN, 2010, p. 375). Isto significa que o VPL exige que as entradas de caixas intermediárias sejam investidas ao custo do capital, já a TIR pressupõe que essas entradas intermediárias devam ser reinvestidas à TIR do projeto.

2.7.3 *Payback* Simples e *Payback* Descontado

O período de *Payback* de acordo com (GITMAN, 2010, p. 366), “é o tempo necessário para que a empresa recupere o investimento inicial em um projeto a partir das entradas de caixa”. É considerado interessante, porque considera os fluxos de caixa e não o lucro contábil (GITMAN, 2010). O *Payback* é relevante quando for necessário saber em quanto tempo os fluxos de caixa gerados pelo projeto cobrem a totalidade do investimento (BREALEY e MYERS, 1998 citado por GOMES, 2011).

O método de cálculo do *Payback* é considerado mais adequado para investimentos totalmente financiados com capital próprio (CASAROTTO e KOPITTKKE, 2010), como é o caso deste estudo. Quanto ao capital investido, sua exposição ao tempo o faz suscetível aos riscos do projeto, “as estimativas de retorno diminuem seu grau de certeza à medida que se distância da data inicial do projeto e vice-versa” (BALARINE, 2004, p. 40). Por isso, conforme explica Gitman (2010), o *Payback* descontado é utilizado para analisar as diferenças, quando essas ocorrem nos fluxos de caixa.

De acordo com o Gitman (2010), *Payback* descontado é encontrado com base no valor presente das entradas de caixa submetido a uma taxa de desconto. Dessa forma, considera-se o valor do dinheiro no tempo, descontando das entradas de fluxo de caixa, aquilo que é referente à taxa de desconto, amenizando os riscos do investimento.

Quanto aos critérios de decisão de aceitação de projetos, se o *Payback* for menor que o período máximo aceitável, aceita-se o projeto, caso contrário rejeita-se. O período máximo aceitável é subjetivo, um critério particular estipulado pela empresa ou investidor, sendo que um *Payback* menor significa menor tempo de exposição aos riscos (BALARINE, 2004; GITMAN, 2010).

3. PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

3.1. TIPO DE ABORDAGEM DE PESQUISA: Qualitativa e Exploratória.

Para este trabalho optou-se pela abordagem qualitativa, por meio de estudo de caso de caráter exploratório. O estudo de caso tem sido utilizado largamente nas áreas das Ciências Sociais, inclusive nas áreas de Administração e Economia (CARMO e FERREIRA, 2008).

Tendo em vista a sua natureza aplicada (FLEURY e WERLANG, 2017), neste estudo propôs-se analisar a utilização da energia fotovoltaica e responder como a implantação de um sistema de energia fotovoltaica pode contribuir para a redução dos gastos com energia elétrica em uma residência particular, tendo por objeto de estudo um caso único.

O estudo de um caso frequentemente é associado a experiências do investigador ou acontecimento prático do cotidiano, procurando responder questões do tipo: como e por quê. Esse é o considerado o método não probabilístico mais adequado para este estudo (MERRIAM, 2009).

3.2. TIPO DE DELINEAMENTO DA PESQUISA: Bibliográfica, Documental, Estudo de Caso e Análise de Viabilidade Econômico-Financeira.

Este estudo de caso foi elaborado em quatro etapas: a primeira etapa consistiu-se na separação e leitura do referencial teórico, com a intenção de buscar informações relevantes e atuais sobre o tema. A segunda etapa consistiu na coleta de dados e documentação. A Terceira etapa teve o objetivo de reunir todos esses dados e transformá-los em informações para o trabalho; na quarta etapa foi realizada a análise de viabilidade do projeto.

Para isso, foram utilizados como métodos de análise para avaliação econômico-financeira do projeto: o VPL, TIR e *Payback* descontado.

3.3 COLETA DE DADOS

Os dados coletados nesse estudo vieram de fontes primárias e secundárias. De fontes primárias: as informações fornecidas pelo proprietário da residência, e de fontes secundárias, como: sites institucionais, resoluções governamentais, documento referentes ao consumo de eletricidade, orçamentos de fornecedores de energia solar etc. Na coleta dos dados, reuniu-se documentos como: orçamento para implantação do sistema, histórico da conta de energia

elétrica da residência estudada, dados sobre a incidência solar na região, dentre outros aspectos não menos importantes.

Os documentos foram fornecidos pelo dono da residência e fornecedores de serviços de instalação de equipamentos fotovoltaicos, assim como de sites como a COPEL – Companhia Paranaense de Energia, Atlas de Energia Solar do Paraná e ANEEL, e outras fontes igualmente relevantes.

Conforme explica a literatura, na triangulação dos dados é importante a utilização de diversas técnicas combinadas para a coleta dos dados, inclusive a análise documental (FLEURY e WERLANG, 2017) que, neste caso, foi auxiliado pela utilização do Microsoft Excel para o Office 365, para a obtenção dos resultados das fórmulas aplicadas nos cálculos.

3.4 TRATAMENTO DOS DADOS: Análise de Conteúdo e Cálculos Financeiros.

Os dados foram organizados e ponderados sistematicamente por meio da análise de conteúdo e de viabilidade econômico-financeira apresentados no Capítulo 4 em forma de textos, gráficos e planilhas.

As planilhas são dispostas em dois períodos de dez anos e um período de cinco anos, totalizando vinte e cinco períodos (APÊNDICE I), e na sequência são apresentados os fatores de análise, como: VPL, TIR e *Payback*, Simples e Descontado (APÊNDICE 2).

4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esse capítulo se encarrega das análises econômico-financeiras baseadas nos Fluxos de Caixa Relevantes do projeto, VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno) e *Payback* Descontado.

4.1. COMPONENTES PARA DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS

4.1.2. Quantidade de Módulos Fotovoltaicos

Para determinar a quantidade de módulo, primeiro foi necessário calcular o rendimento global da placa. Por isso, para determinar a potência final de cada módulo fotovoltaico, segundo Romani (2015), aplicou-se a Equação 1 (ANEXO 1).

A Energia Gerada é determinada pelo consumo da residência descontado os 100kWh/mês (trifásico) cobrado pela rede pela disponibilização do sistema (ANEEL, 2010). Segundo Romani (2015), divide a média anual por 30 tem-se a potência gerada por dia. Já a Potência Total dos módulos representa a potência máxima que as placas podem fornecer para o inversor, que depois de calculado, apresentou o resultado de 3,78kWh.

O cálculo para a obtenção das quantidades de módulos para produzir a energia necessária para a residência é dada a partir da divisão da potência total pela potência de cada módulo, foi determinado aplicando-se a Equação 2 (ANEXO 1). O resultado dessa equação, apontou a necessidade de 12 módulos fotovoltaicos.

4.2. COMPONENTES PARA A ANÁLISE FINANCEIRA

Os dados sobre o dimensionamento do sistema fotovoltaico foram de fundamental importância para a realização da análise de viabilidade econômico-financeira, assim como conhecer os gastos mensais da residência. O Consumo médio anual total na residência é de 369,41kWh/Mês, conforme o histórico (QUADRO 1), referentes aos meses de setembro de 2018 a outubro de 2019, já descontado 100kWh/mês, referentes aos custos de disponibilidade (ANEEL, 2010). A produção de energia requerida pelo investidor do projeto é uma geração de 371kWh/Mês, sem geração de excedentes, contudo, supre a necessidade do investidor, diminuindo significativamente o consumo de energia proveniente da rede de distribuição da COPEL. O histórico da demanda mensal da residência é apresentado no Quadro 1, a seguir:

QUADRO 1 – CONSUMO E GASTOS MENSAIS DA RESIDÊNCIA

Meses	kWh	VALOR
agosto-19	511	R\$ 465,44
julho-19	521	R\$ 457,67
junho-19	498	R\$ 435,86
maio-19	456	R\$ 399,22
abril-19	496	R\$ 428,84
março-19	499	R\$ 433,33
fevereiro-19	235	R\$ 207,35
janeiro-18	571	R\$ 513,84
dezembro-18	474	R\$ 428,66
novembro-18	429	R\$ 409,73
outubro-18	444	R\$ 418,57
setembro-18	499	R\$ 460,15
Média Mensal	469,41	R\$ 421,56
Custo de Disponibilidade da Rede	100kWh/Mês	

Fonte: o autor (2019).

4.2.1 Taxas Consideradas e Suas Aplicações.

Após a coleta e análise dos documentos fornecidos foram consideradas informações de reajustes do kWh da tarifa de energia elétrica da COPEL, correspondente ao mês de setembro de 2018 a setembro de 2019, conforme os dados de consumo de energia elétrica da residência. Para a atualização do preço do kWh, utilizou-se a média dos reajustes da COPEL de 8,13% a.a., conforme a Tabela 1.

TABELA 1 – HISTÓRICO DOS REAJUSTES DA COPEL DOS DEZ ANOS

VIGÊNCIA	PORTARIA / RESOLUÇÃO	REAJUSTE MÉDIO - VARIAÇÃO PERCENTUAL
2019	Resolução 2559/2019	3,41%
2018	Resolução 2402/2018	15,99%
2017	Resolução 2255/2017	5,85%
2016	Resolução 2096/2016	-12,87%
2015	Resolução 1858/2015; Resolução 1897/2015	52,11%
2014	Resolução 1763/2014	24,86%
2013	Resolução 1565/2013; Resolução 1431/2013	-9,73%
2012	Resolução 1296/2012	-0,65%
2011	Resolução 1158/2011	2,99%
2010	Resolução 1015/2010	2,46%
2009	Resolução 839/2009	5,00%
MÉDIA		8,13%

FONTE: COPEL – Companhia Paranaense de Energia. Elaborado pelo autor (2019).

Outro fator importante tem a ver com o rendimento do sistema. Vale à pena mencionar, que o desempenho do inversor pode ser inferior ou exceder a 80%. Porém, neste caso, o desempenho garantido pelo fornecedor é de 80%, conforme apresentado na Tabela 3.

TABELA 2 - RESUMO DOS PARÂMETROS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE

PARÂMETRO PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE		
Consumo mensal da residência (kWh/mês)	379,69kW/mês	4556,28kWh
Energia Gerada pelo Sistema (Demanda)	371kWh/Mês	
Consumo mensal da residência (R\$)	R\$ 432,77	R\$5.193,24
Desempenho global do inversor	80%	
Reajuste médio anual de energia elétrica	8,13%	
Painéis necessários	11	
Taxa de juros (média da poupança)	6%	
Taxa de Inflação	4,5% a.a	
Tempo de garantia dos módulos	10 anos	
Tempo de garantia dos inversores	15 anos	

FONTE: o autor (2019).

4.4 FLUXOS DE CAIXA DO PROJETO

Nos Fluxos de Caixa Relevantes, do ponto de vista de investimento do capital, enfatizam-se as entradas relacionadas ao investimento e as saídas decorrentes desse investimento (GITMAN, 2010). É importante compreender como o capital investido se comporta ao longo do tempo ao ser submetido uma taxa de desconto.

Por isso, a partir dos fluxos de caixa relevantes considerou-se o horizonte do projeto de 25 anos, estabelecendo um tempo máximo de retorno sobre o investimento de no máximo 10 anos, com financiamento a partir de capital próprio, sendo um investimento considerado de longo prazo.

Portanto, são inexistentes os custos financeiros do projeto relacionados a juros de empréstimos junto a terceiros. O projeto está sujeito apenas a taxas de desconto como, SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia) e reajustes de eletricidade da COPEL.

As despesas, por sua vez, estão associadas aos custos com manutenção, que englobam despesas com eventualidades. Para esse fim, considerou-se 1% do total do investimento inicial do projeto. No investimento inicial do projeto foram agrupados todos os custos de instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica.

O componente pertinente a receitas está associada à energia gerada pelo sistema. Os dois componentes mencionados estão listados no fluxo de caixa, como entradas operacionais (TABELA 3).

Na sequência da análise, para determinar se projeto é viável aplicou-se o VPL a uma taxa de 5,4% (TMA), baseada na SELIC, constituída utilizando-se a média da Meta Taxa SELIC dos períodos de 2019 a 2022, fim dos períodos².

O VPL vai determinar se o projeto tem condições de absorver essa taxa e continuar positivo. Diante disso, conforme apresentado na TABELA 3, pode-se ver a dinâmica das entradas e saídas de caixa, e visualizar o comportamento ao longo dos primeiros cinco anos do projeto.

Os resultados dos cinco primeiros anos demonstram que o investimento inicial vem sendo reduzido pelos valores líquidos provenientes das entradas de caixa operacional concernentes a energia gerada e aos custos de manutenção, apresentados na TABELA 3 (APÊNDICE I). As planilhas com os cálculos dos fluxos de caixa anuais podem ser consultadas no Apêndices 1 e 2.

²Fonte: Focus – Relatório de Mercado – 14/11/2019. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/content/focus/focus/R20191114.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

QUADRO 2– PLANILHA DE CÁLCULOS *PAYBACK* DESCONTADO

ANOS	Valor do kWh com impostos (R\$)	Consumo Residência (kWh a.a.)	Tarifa Anual Economizada (R\$)	Custo de Disponibilidade (100 kWh a.m. e 1200 kWh a.a.) R\$	Geração de Energia	Manutenção + Eventualidades	Fluxo de Caixa Descontado 6% a.a. em R\$	<i>Payback</i> Descontado em R\$	
							-23.205,27	-23.205,27	
1	2020	0,7943	5.652	4.489,36	953,15	3.536,20	-232,05	3.134,87	-20.070,40
2	2021	0,8589	5.652	4.854,34	1.030,65	3.823,69	-242,50	3.223,65	-16.846,76
3	2022	0,9287	5.652	5.249,00	1.114,44	4.134,56	-253,41	3.314,66	-13.532,10
4	2023	1,0042	5.652	5.675,74	1.205,04	4.470,70	-264,81	3.407,97	-10.124,13
5	2024	1,0858	5.652	6.137,18	1.303,01	4.834,17	-276,73	3.503,63	-6.620,50
6	2025	1,1741	5.652	6.636,13	1.408,95	5.227,19	-289,18	3.601,70	-3.018,80
7	2026	1,2696	5.652	7.175,65	1.523,49	5.652,16	-302,19	3.702,26	683,46
8	2027	1,3728	5.652	7.759,03	1.647,35	6.111,68	-315,79	3.805,35	4.488,81
9	2028	1,4844	5.652	8.389,84	1.781,28	6.608,56	-330,00	3.911,06	8.399,87
10	2029	1,6051	5.652	9.071,93	1.926,10	7.145,83	-344,85	4.019,44	12.419,31
11	2030	1,7356	5.652	9.809,48	2.082,69	7.726,79	-360,37	4.130,57	16.549,87
12	2031	1,8767	5.652	10.606,99	2.252,02	8.354,98	-376,59	4.244,51	20.794,39
13	2032	2,0293	5.652	11.469,34	2.435,10	9.034,24	-393,53	4.361,35	25.155,74
14	2033	2,1942	5.652	12.401,80	2.633,08	9.768,72	-411,24	4.481,16	29.636,89
15	2034	2,3726	5.652	13.410,06	2.847,15	10.562,92	-429,75	4.604,01	34.240,90
16	2035	2,5655	5.652	14.500,30	3.078,62	11.421,68	-449,09	4.729,98	38.970,88
17	2036	2,7741	5.652	15.679,18	3.328,91	12.350,26	-469,30	4.859,16	43.830,05
18	2037	2,9996	5.652	16.953,89	3.599,55	13.354,34	-490,41	4.991,63	48.821,68
19	2038	3,2435	5.652	18.332,24	3.892,20	14.440,05	-512,48	5.127,48	53.949,15
20	2039	3,5072	5.652	19.822,66	4.208,63	15.614,02	-535,55	5.266,78	59.215,94
21	2040	3,7923	5.652	21.434,24	4.550,79	16.883,44	-559,64	5.409,64	64.625,58
22	2041	4,1006	5.652	23.176,84	4.920,77	18.256,07	-584,83	5.556,14	70.181,72
23	2042	4,4340	5.652	25.061,12	5.320,83	19.740,29	-611,15	5.706,39	75.888,11
24	2043	4,7945	5.652	27.098,59	5.753,42	21.345,17	-638,65	5.860,47	81.748,58
25	2044	5,1843	5.652	29.301,70	6.221,17	23.080,53	-667,39	6.018,49	87.767,07

FONTE: elaborado pelo autor (2019).

O tempo de retorno estipulado pelo investidor foi de um período de retorno abaixo de 10 anos. Verificando os resultados constatou-se que o sobre o investimento acontecerá entre 6 e 7 anos. Os números demonstram que tal retorno ocorrerá em 6 anos e 10 meses, conforma apresentado no Quadro 2. Significa que os fluxos de caixa gerados pelo projeto retornam a totalidade do investimento dentro do período citado (BREALEY e MYERS, 1998 citado por GOMES, 2011).

O *Payback* Descontado (APÊNDICE 2) considerou uma de TMA de 5,4% a.a., referente à SELIC. O Quadro 3. O resultado do VPL apresentou-se positivo, o que de acordo com (GITMAN, 2010), significa que o projeto tem o retorno maior que o seu custo de capital.

QUADRO 3–RESULTADOS OBTIDOS

Métodos	Resultados Obtidos
<i>TIR</i>	21,8%
<i>VPL</i>	R\$ 32.676,50
<i>Payback Descontado</i>	6 anos e 10 meses

FONTE: elabora pelo autor (2019).

Em relação ao cálculo da TIR, o resultado obtido foi de 21,8%, portanto acima da TMA. Isto significa que o projeto deve ser aceito, conforme Gitman (2010), pois o resultado indica que o retorno do projeto é maior do que remuneração do mercado financeiro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade econômico-financeira de um sistema fotovoltaico a ser instalado em uma residência em Curitiba, com capital próprio, aplicando cálculos de análises financeiras, por meio do *Payback* Descontado, VPL e TIR, com o intuito de redução de custos com energia elétrica, sem a necessidade de gerar energia excedente.

Com relação aos resultados obtidos por meio da análise de *Payback* descontado, considerou-se uma TMA de 5,4% a.a., que demonstra que o investimento terá retorno em 6 anos e 10 meses, período equivalente a 27,3% da vida útil do bem, com estimativa de médio prazo (GITMAN, 2010).

Ao final do vigésimo quinto ano, o VPL apresentou resultado positivo de R\$32.676,50, registrando uma TIR de 21,8%, mantendo-se acima da TMA. Dessa forma, recomenda-se a efetivação do investimento no projeto.

Além dos benefícios financeiros, há outros aspectos intangíveis a serem considerados, como por exemplo, o incentivo à geração de energia limpa, difundindo iniciativas de proteção ao meio ambiente, preservando-o para futuras gerações.

5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomendam-se, inclusive, novos trabalhos que abordem a evolução de projetos de viabilidade econômico-financeira de sistemas fotovoltaicos *On-Grid*, com previsão de geração de excedente, além de outros estudos que avaliem a viabilidade econômico-financeira da substituição de um sistema fotovoltaico existente, depois de exaurido o período de vida útil do bem.

REFERÊNCIAS

- ANP. Agência de Notícias do Paraná. **Copel lança mapa solar para fomentar geração fotovoltaica**. Curitiba, Brasil. 2019. Disponível em: <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=99418>>. Acesso em: 06 de Novembro de 2018.
- IPEA - **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. 2019. Cadernos ODS 7: Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/190502_cadernos_ODS_objetivo_7.pdf>. Acesso em: 05 de Novembro de 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução de nº 414**, Brasília, 09 Setembro 2010. 156. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>>. Acesso em: 04 Novembro 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 687**, Brasília, 24 Novembro 2015. 25. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 04 Novembro 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482**, Brasília, 2012 Abril 2012. 12. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 04 Novembro 2019.
- BALARINE, O. F. O. **Tópicos de Matemática Financeira e Engenharia Econômica - Revista e Ampliada**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004.
- BARBIERI, G. M. L. et al. **Atlas Solarimétrico do Estado do Paraná**. Curitiba: OPEL - Companhia Paranaense de Energia, 2017. Disponível em: <<https://solar.copel.com/solar/atlas-solarimetrico-copel.pdf>> Acesso em: 10 Nov. 2019.
- CARMO, H., & FERREIRA, M. M. **Metodologia Para a Investigação: Guia para Auto-aprendizagens**. (2ª). Lisboa, Portugal. 2008. Disponível em <<https://repositorioaberto.uab.pt/handle/10400.2/5963>> Acesso em 05 de Nov. de 2019.
- CASAROTTO, N. F.; KOPITTKKE, B. H. **Análise de Investimento: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 411 p.
- CEIM - Centro de Empresas e Inovação da Madeira. Guião para o preenchimento da Matriz Financeira. Ilha da Madeira: **RS4E - Road Show for Entrepreneurship**, 2016. 17 p. Ano letivo 2015/2016.
- CRECESB - Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Tutorial e Energia Solar Fotovoltaica**. Rio de Janeiro. 2008. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=291> Acesso em 05 de novembro de 2019.

EPE - Empresa de Pesquisa de Energia. **Premissas Macroeconômicas**. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-295/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Eletricidade.pdf>. Acesso em 06 de Nov. de 2019.

FLEURY, M. T., & WERLANG, S. R. Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens. **Anuário de Pesquisa GV Pesquisas**. Brasil. 2017. Disponível em: <<https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjI9urAodPIAhXoHbkGHTFtDoEQFjABegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Fbibliotecadigital.fgv.br%2Ffojs%2Findex.php%2Fapgvpesquisa%2Farticle%2Fdownload%2F72796%2F69984&usg=AOvVaw2QSD3JLgCXLb6Xjg5s2C>>. Acesso em: 04 de novembro de 2019.

GARRISON, R. H.; NORREN, E. W.; BREWER, P. C. **Contabilidade Gerencial**. 14. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 774 p.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Pratices Hall, 2010. 801 p.

GOMES, V. S. D. S. **Avaliação de Projectos de Investimento: Elaboração de um Estudo de Viabilidade Económico-Financeira**. 2011. Dissertação (Mestrado em Gestão), Coimbra, p. 111, Setembro 2011.

MARQUES, D. D. *et al.* **Variação da Radiação Solar no Estado do Amapá: Estudo de Caso em Macapá, Pacuí, Serra Do Navio E Oiapoque no Período De 2006 A 2008**. 2012. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/rbmet/v27n2/a02v27n2.pdf> Acesso em: Nov. 2019.

MERRIAM, S. B. **Qualitative Research: A Guide to Design and Implementation Revise and Expanded from Qualitative Research and Case Study Applications in Education**. 2ª. ed. San Francisco: Jossey-Bass, 2009.

MOZZATO, A. R.; GRZYBOVSKI, D. Análise de Conteúdo como Técnica de Análise de Dados: Qualitativos no Campo da Administração: Potencial e Desafios. **RAC - Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 15, n. 4, p. 731-747, Jul/Ago. 2011. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/rac>> Acesso em: Março 2017.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, 2017. 88 p.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: <https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi4ms3HyeXIAhVXILkGHdQAA1UQFjAAegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.cresesb.cepel.br%2Fpublicacoes%2Fdownload%2FManual_de_Engenharia_FV_2014.pdf&usg=AOvVaw3i4hJ8xbK6-6SAkv7fB> Acesso em: Nov. 2019.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013. 277 p.

ROMANI, Gisele Esser. **Impactos da Tarifa de Energia Elétrica Sobre a Viabilidade de Instalação de Sistemas Fotovoltaicos**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização. Universidade Federal do Paraná. 19 p. Curitiba, 2015.

ROMERAL, P. A. D. A. F.; LIMA, M. T. D.; DALTO, J. L. Análise de Viabilidade Econômico-Financeira para a Implementação de Um Sistema Fotovoltaico em uma Distribuidora de Peças Automotivas na Cidade de Londrina - PR. **Revista Produção Industrial e Serviços**, Maringá, v. 04, n. 2, p. 77-90, 2017.

SANTOS, F. A.; SOUZA, C. A. D.; DALFIOR, V. A. O. **Energia Solar: Um Estudo Sobre a Viabilidade Econômica de Instalação do Sistema Fotovoltaico em uma Residência em Ipatinga-MG**. Resende, 14 p. 2016. Disponível em:
<<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/862456.pdf>> Acesso em 03 de Novembro de 2019.

SERAFIM JUNIOR, V. et al. Energia Fotovoltaica Residencial: Uma Análise Econômico-Financeira de Viabilidade. **Rev. Ciênc. Empres. UNIPAR**, v. 19, n. 2, p. 273-290, Julho/Dezembro de 2018.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, Enio Bueno; JUNIOR, Jair Urbanetz; PEREIRA, Silvia Vitorino; GONÇALVES, André Rodrigues; LIMA, Francisco José Lopes de; COSTA, Rodrigo Santos; ALVEZ, Alisson Rodrigues. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. Curitiba: UTFPR. p. 97. 2017.

APÊNDICE I–FLUXO DE CAIXA

TABELA 3– FLUXO DE CAIXA DO ANO 1 AO ANO 10

Fluxo de Caixa	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Investimento Inicial											
Custo Total do Sistema	-23.205,27										
Entrada de Caixa Operacional											
Custo de Manutenção	-	-232,05	-242,50	-253,41	-264,81	-276,73	-289,18	-302,19	-315,79	-330,00	-344,85
Energia Gerada	-	3.536,20	3.823,69	4.134,56	4.470,70	4.834,17	5.227,19	5.652,16	6.111,68	6.608,56	7.145,83
Fluxo de Caixa Acumulado	-23.205,27	-19.901,12	-16.319,92	-12.438,77	-8.232,88	-3.675,44	1.262,57	6.612,53	12.408,42	18.686,97	25.487,95
Fluxo de Caixa Terminal	-23.205,27	3.304,15	3.581,20	3.881,15	4.205,89	4.557,44	4.938,01	5.349,96	5.795,89	6.278,55	6.800,98

FONTE: elaborado pelo autor (2019).

TABELA 4 – FLUXO DE CAIXA DO ANO 11 AO ANO20

Fluxo de Caixa	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
Investimento Inicial										
Custo Total do Sistema										
Entrada de Caixa Operacional										
Custo de Manutenção	-360,37	-376,59	-393,53	-411,24	-429,75	-449,09	-469,30	-490,41	-512,48	-535,55
Energia Gerada	7.726,79	8.354,98	9.034,24	9.768,72	10.562,92	11.421,68	12.350,26	13.354,34	14.440,05	15.614,02
Fluxo de Caixa Acumulado	32.854,37	40.832,76	49.473,46	58.830,94	68.964,10	79.936,70	91.817,67	104.681,59	118.609,16	133.687,63
Fluxo de Caixa Terminal	7.366,42	7.978,39	8.640,70	9.357,48	10.133,17	10.972,59	11.880,97	12.863,93	13.927,56	15.078,48

FONTE: elaborado pelo autor (2019).

TABELA 5– FLUXO DE CAIXA DO ANO 21 AO ANO 25.

Fluxo de Caixa	21	22	23	24	25
	2040	2041	2042	2043	2044
Investimento Inicial					
Custo Total do Sistema					
Entrada de Caixa Operacional					
Custo de Manutenção	-559,64	-584,83	-611,15	-638,65	-667,39
Energia Gerada	16.883,44	18.256,07	19.740,29	21.345,17	23.080,53
Fluxo de Caixa Acumulado	150.011,43	167.682,67	186.811,81	207.518,34	229.931,48
Fluxo de Caixa Terminal	16.323,80	17.671,24	19.129,14	20.706,52	22.413,15

FONTE: elaborado pelo autor (2019).

APÊNDICE II – FLUXO DE CAIXA E *PAYBACK* DESCONTADO

TABELA 6 – *PAYBACK* DESCONTADO DO ANO 1 AO ANO 10

Fluxo de Caixa Descontado	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
VPL	-23.205,27	3.134,87	3.223,65	3.314,66	3.407,97	3.503,63	3.601,70	3.702,26	3.805,35	3.911,06	4.019,44
Payback Descontado	-23.205,27	-20.070,40	-16.846,76	-13.532,10	-10.124,13	-6.620,50	-3.018,80	683,46	4.488,81	8.399,87	12.419,31

FONTE: elaborado pelo autor (2019).

TABELA 7 - *PAYBACK* DESCONTADO DO ANO 11 AO ANO 20

Fluxo de Caixa Descontado	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
VPL	4.130,57	4.244,51	4.361,35	4.481,16	4.604,01	4.729,98	4.859,16	4.991,63	5.127,48	5.266,78
Payback Descontado	16.549,87	20.794,39	25.155,74	29.636,89	34.240,90	38.970,88	43.830,05	48.821,68	53.949,15	59.215,94

FONTE: elaborado pelo autor (2019).

TABELA 8 – *PAYBACK* DESCONTADO DO ANO 21 AO ANO 25

Fluxo de Caixa Descontado	21	22	23	24	25
	2040	2041	2042	2043	2044
VPL	5.409,64	5.556,14	5.706,39	5.860,47	6.018,49
Payback Descontado	64.625,58	70.181,72	75.888,11	81.748,58	87.767,07

FONTE: elaborado pelo autor (2019).

ANEXO I – EQUAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

EQUAÇÃO 1 – POTÊNCIA TOTAL

$$P_T = P_p \times S_p \times n \quad (1)$$

$$P_T = 12,66 \text{ kWh} \times 3,35 \text{ kWh} \times 0,80$$

$$P_T = 3,78 \text{ kWp}$$

Onde:

P_T = Potência Total (?)
 S_p = Horas de sol pleno.
 P_p = Potência Nominal de Cada Pannel
 n = Rendimento do Inversor CC e CCA
 (Corrente Contínua e Corrente Alternada).

FONTE: extraído de Romani (2015).

EQUAÇÃO 2 – QUANTIDADE DE MÓDULOS

$$N = \frac{P_T \times 1000}{P_p} \quad (2)$$

$$N = \frac{3,78 \text{ kWh} \times 1000}{3,35 \text{ kWh}}$$

$$N = 11,1052$$

Onde:

N = Números de Módulos Fotovoltaicos.
 P_T = Potência Total.
 P_p = Potência Nominal de Cada Pannel.
 1000 = Capacidade de geração de energia em kWh do Pannel em sol pleno dada (pelo Fabricante).

FONTE: extraído de Romani (2015).