

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ÉDER LUÍS ANDRADE DA CUNHA**

**JEAN FELYPE FERREIRA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO  
DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO SETOR DE SERVIÇOS: UM ESTUDO DE  
CASO APLICADO EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEL NO MUNICÍPIO DE  
PONTA GROSSA-PR**

**PONTA GROSSA**

**2021**

**ÉDER LUÍS ANDRADE DA CUNHA**

**JEAN FELYPE FERREIRA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO  
DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO SETOR DE SERVIÇOS: UM ESTUDO DE  
CASO APLICADO EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEL NO MUNICÍPIO DE  
PONTA GROSSA-PR**

**Study of the economic and environmental feasibility of the implementation of  
photovoltaic panels in the services sector: a case study applied in a fuel station in the city  
of Ponta Grossa-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia de Produção, do  
Departamento de Engenharia de Produção, da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Neves Puglieri.



**PONTA GROSSA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

	<p><b>Ministério da Educação</b> <b>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</b> <b>CÂMPUS PONTA GROSSA</b> Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção</p>	
---	--	---

**TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC**

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO SETOR DE SERVIÇOS: UM ESTUDO DE CASO APLICADO EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEL NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA-PR**

por

**ÉDER LUÍS ANDRADE DA CUNHA E JEAN FELYPE FERREIRA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 06 de dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O(A)(s) candidato(a)(s) foi(foram) arguido(a)(s) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

*Prof. Dr(a). Fabio Neves Puglieri*  
Prof. Orientador(a)

---

*Prof. Dr(a). Fabio Jose Ceron Branco*  
Membro titular

---

*Prof. Dr(a). Rui Tadashi Yoshino*  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Só se pode alcançar um grande êxito quando nos  
mantemos fiéis a nós mesmos.  
(Friedrich Nietzsche).

## RESUMO

Atualmente a preocupação quanto a escassez de recursos não-renováveis e o aumento de problemas ambientais vêm sendo cada vez mais debatida em âmbito mundial. A busca por novas tecnologias que possam mitigar esses problemas está sendo desenvolvida e estudada no mundo inteiro. A promoção dos sistemas de energia renovável mostra-se em uma crescente nos últimos anos devido aos incentivos governamentais e as características dessas tecnologias. E dentre esses sistemas alternativos de geração de energia, os sistemas solares fotovoltaicos apresentam maior destaque ultimamente por apresentarem características sustentáveis e flexíveis de implantação. Por outro lado, no Brasil o setor de serviços, por conta de suas características e representatividade, é um dos que mais demanda energia elétrica. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise de viabilidade econômica e ambiental para a implantação de painéis fotovoltaicos no setor de serviços, sendo desenvolvido um estudo de caso aplicado em postos de combustíveis no município de Ponta Grossa – PR. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre o tema. Além de uma análise de um *case* real em um posto de serviço para automotores utilizando ferramentas de engenharia econômica e análise de viabilidade ambiental comparando geração específica de sistemas. Os resultados obtidos demonstram que o projeto é viável tanto no ponto de vista econômico como ambiental, além disso, está alinhado com as expectativas e metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS's). Por fim, este trabalho fortalece a aplicação de ferramentas de engenharia em *cases* reais com intuito de obter resultados satisfatórios e enfatiza a questão de escassez dos recursos não-renováveis destacando a importância da aplicação de sistemas alternativos e ambientalmente favoráveis.

**Palavras-chave:** Energia renovável. Energia solar. Painel fotovoltaico. Sustentabilidade. Setor de serviços.

## ABSTRACT

Currently, concerns about the scarcity of non-renewable resources and the increase in environmental problems have been increasingly debated worldwide. The search for new technologies that can mitigate these problems is being developed and studied worldwide. The promotion of renewable energy systems has been growing in recent years due to government incentives and the characteristics of these technologies. And among these alternative energy generation systems, solar photovoltaic systems have become more prominent lately because they have sustainable and flexible deployment characteristics. On the other hand, it is believed that in Brazil the service sector, due to its characteristics and representativeness, is one of the most demanded for electricity. Because of this and the economic instability and future unpredictability caused by Coronavirus (COVID-19), it is believed that there are opportunities to be evaluated in relation to the application of this technology in the sector. Therefore, the objective of this work is to carry out an economic and environmental feasibility analysis for the deployment of photovoltaic panels in the service sector, being developed by a case study applied in gas stations in the municipality of Ponta Grossa - PR. The methodology used will be based on economic engineering tools and environmental feasibility analysis comparing specific generations of systems. The results obtained demonstrate that the project is viable both from an economic and environmental point of view, in addition, it is in line with the expectations and goals of the Sustainable Development Goals (SDGs). Finally, this work strengthens the application of engineering tools in real cases in order to obtain satisfactory results and emphasizes the issue of scarcity of non-renewable resources, highlighting the importance of applying alternative and environmentally friendly systems.

**Keywords:** Renewable energy. Solar energy. Photovoltaic panel, Sustainability, Service sector.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeito Fotovoltaico .....	18
Figura 2 – Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável .....	22
Figura 3 – Exemplo de Diagrama de Fluxo de Caixa .....	25
Figura 4 – Exemplo de tabela de Fluxo de Caixa .....	25
Figura 5 – Relação de publicações selecionadas por país .....	30
Figura 6 – Relação de artigos por ano .....	31
Figura 7 – Fluxograma de busca do referencial bibliográfico .....	37
Figura 8 – Consumo de Energia Elétrica (kWh) .....	21
Figura 9 – Fluxo de Caixa Empresa A .....	44
Figura 10 – Fluxo de Caixa Empresa B .....	45
Figura 11 – Fluxo de Caixa Empresa C .....	45
Figura 12 – Resultado do <i>Payback</i> para cada projeto em anos .....	46
Figura 13 – Comparação do <i>Payback</i> entre os Projetos .....	47
Figura 14 – Resultado TIR para cada projeto .....	48
Figura 15 – Geração e consumo de energia (kWh) no cenário de implantação do projeto para Orçamento 1 .....	51
Figura 16 – Geração e consumo de energia (kWh) no cenário de implantação do projeto para Orçamento 2 .....	51
Figura 17 – Geração e consumo de energia (kWh) no cenário de implantação do projeto para Orçamento 3 .....	52
Figura 18 - Energia gerada (kWh) considerando cenários com e sem implantação do projeto	53
Figura 19 - Emissões tCO <sub>2</sub> eq. em cada ano considerando o cenário com e sem implantação do projeto .....	54

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 – Procedimentos utilizados para atender os objetivos específicos .....	36
Tabela 2 – Conjunto de palavras-chave relevantes ao tema e sua combinação booleana utilizadas nas plataformas de busca.....	37
Tabela 3 – Quantidade de artigos encontrados na base <i>Web of Science</i> para cada <i>query</i> estabelecida.....	38
Tabela 4 – Quantidade de artigos encontrados na base <i>Scopus</i> para cada <i>query</i> estabelecida.	38
Tabela 5 – Quantidade de artigos encontrados na base <i>Science Direct</i> para cada <i>query</i> estabelecida.....	38
Tabela 6 – Informações das propostas do projeto .....	43
Tabela 7 - Resultados VPL para cada projeto .....	47
Tabela 8 - Valores de Referência para Análise de Cenários .....	49
Tabela 9 – Análise de Cenários .....	49
Tabela 10 – Total de Emissões Analisando os Cenários .....	54
Tabela 11 – Redução de Emissões com Aceitação do Projeto .....	54



## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

EPV – Energia Solar Fotovoltaica

GEE – Gases do Efeito Estufa

NU – Nações Unidas

ONU – Organização das Nações Unidas

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

PIB – Produto Interno Bruto

PV – Painel Fotovoltaico

SER – Sistemas de Energia Renovável

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

VPL – Valor Presente Líquido

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação Pegada de Carbono .....	20
Equação 2 – Equação <i>payback</i> .....	26
Equação 3 – Equação Valor Presente Líquido .....	27
Equação 4 – Equação Taxa Interna de Retorno.....	27

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	PROBLEMAS DA PESQUISA..... 13
1.1.1	Objetivo Geral..... 13
1.1.2	Objetivos Específicos ..... 13
1.2	JUSTIFICATIVA ..... 14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 16</b>
2.1	ENERGIA RENOVÁVEL ..... 16
2.2	PAINÉIS FOTOVOLTAICOS ..... 18
2.3	PEGADA DE CARBONO ..... 20
2.4	OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL..... 21
2.5	VIABILIDADE DE PROJETO ..... 23
2.5.1	Viabilidade Econômica e Financeira ..... 23
2.5.2	Viabilidade Ambiental..... 28
2.6	PESQUISAS RECENTES: APLICAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES ..... 30
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA..... 34</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA ..... 34
3.1.1	Natureza Da Pesquisa ..... 34
3.1.2	Abordagem da Pesquisa..... 34
3.1.3	Objetivos da Pesquisa ..... 35
3.1.4	Procedimentos Técnicos da Pesquisa..... 35
3.2	PROCEDIMENTOS DA PESQUISA ..... 36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 41</b>
4.1	COLETA DE DADOS..... 41
4.1.1	Plano de Coleta de Dados ..... 41
4.1.2	Visita <i>in loco</i> e coleta de informações ..... 41
4.2	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA..... 43
4.2.1	Fluxo de Caixa ..... 43
4.2.2	<i>Payback</i> ..... 46
4.2.3	Valor Presente Líquido ..... 47
4.2.4	Taxa Interna De Retorno..... 48
4.2.5	Análise de Cenários ..... 49
4.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE AMBIENTAL ..... 50

4.4	ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS E CONTRIBUIÇÕES PARA OS ODS'S .....	55
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>
	<b>APÊNDICE A – FORMULÁRIO PARA COLETA DE DADOS.....</b>	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE B – PLANO DE COLETA DE DADOS COM REPOSTAS OBTIDAS.....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e econômico demanda energia, a qual é proveniente principalmente de recursos energéticos fósseis, como o petróleo, carvão mineral e gás natural (BELTRÁN-TELLES, 2017). Para suprir essa demanda energética, o consumo desses recursos não renováveis vem aumentando constantemente ao longo dos anos. Esse fato tornou-se tema de inúmeros debates e questionamentos por conta da geração e emissão excessiva de gases tóxicos na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que acabam intensificando os níveis de poluição atmosférica e mudanças climáticas (INEEL, 2009; UK, 2009; DOE, 2013).

O setor de geração e fornecimento de energia é o um dos maiores responsáveis pela intensificação dos Gases de Efeito Estufa (GEE), o qual em 2020 no Brasil foi responsável por emitir cerca de 367.042.995 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, através da queima de combustíveis – redução de 5,14% se comparado ao ano de 2019. Apesar da pequena redução no último ano, os índices de emissões estão em níveis mais altos com base em décadas anteriores. Já o estado do Paraná foi responsável por emitir 21.674.814 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente em 2020, um aumento de 2,91% se comparado com ano anterior (SEEG, 2021).

Logo, devido à esta escassez dos recursos naturais não renováveis, atrelado ao aumento da demanda energética e da preocupação com outras questões ambientais, houve na última década uma crescente busca por fontes alternativas de geração de energia, apoiada por incentivos legislativos e governamentais (GOMES et al., 2018). Além disso, um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas é garantir serviços de energia sustentável, moderna, confiável e acessível, sendo este definido como um importante objetivo global até 2030 (UNITED NATIONS, 2015).

Dentre os principais meios alternativos para geração de energia sustentável, a energia solar é uma das que mais vem aumentando sua participação e atratividade dentro do setor energético. Isto deve-se por ser uma energia limpa, sustentável e que apresenta excelentes desempenhos em regiões tropicais. Uma das aplicações desta tecnologia são as placas solares fotovoltaicas, as quais geram energia elétrica a partir dos raios solares e podem apresentar rápido retorno financeiro em relação ao seu investimento de instalação, além de reduzido valor com manutenção (GOMES et al., 2018).

A instalação de um painel fotovoltaico em uma residência ou estabelecimento demanda investimentos iniciais e análises dos ganhos futuros. Visando obter uma estimativa precisa da viabilidade do desenvolvimento de um projeto deste porte, é interessante utilizar

ferramentas de engenharia econômica, as quais darão um suporte significativo para tomadas de decisão assertivas e um bom andamento do projeto (LEE, 2019).

Além disso, outro ponto importante da instalação de um sistema alternativo de geração de energia são os benefícios e ganhos ambientais que serão obtidos a longo prazo com a utilização de uma energia limpa e sustentável. Porém para mensurar e quantificar corretamente os ganhos ambientais de um projeto como este, é necessário avaliar todo o ciclo de vida do material a ser utilizado e comparar com o sistema atual que é utilizado. Para isso, é válida a utilização de ferramentas que auxiliam a calcular os benefícios ambientais que serão obtidos com a instalação das placas solares (PU et al., 2019).

Com base nisso, esta pesquisa propõe uma análise de viabilidade econômica e ambiental da implantação de placas solares no setor de serviços, em um posto de combustível com conveniências e serviços para veículos na cidade de Ponta Grossa. A escolha foi feita tendo em vista que este sistema alternativo de geração de energia apresenta uma tendência de crescimento dentro do setor energético e um espaço ainda inexplorado no Brasil.

## 1.1 PROBLEMAS DA PESQUISA

Qual o impacto ambiental em utilizar um sistema de placa fotovoltaico, têm um impacto ambiental menor em relação a utilização da energia provida da rede? E o uso do sistema é economicamente viável?

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a viabilidade econômica e ambiental para a implantação de painéis fotovoltaicos em um posto de combustível.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Realizar o levantamento teórico dos temas abordados na pesquisa: setor de serviços, energia renovável, energia solar, objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS's) e ferramentas de engenharia econômica.

- Identificar como se dá o uso de energia em uma rede de postos de combustíveis na cidade de Ponta Grossa/PR.
- Analisar a viabilidade econômica da implantação de painéis fotovoltaicos em um posto de combustível na localidade em estudo.
- Analisar o potencial de emissões de  $CO_2$  equivalente com e sem o uso dos painéis fotovoltaicos.
- Comparar os impactos ambientais em relação aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Diante da preocupação mundial com algumas questões ambientais, atrelado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a busca pelo desenvolvimento de sistemas alternativos e sustentáveis de geração de energia apresenta alto crescimento neste século. Afirma-se isso com base no aumento dos incentivos governamentais e trabalhos aplicados na área. Tendo em vista isso, esse estudo torna-se válido, pois contribui para a continuidade e aprimoramento das pesquisas atuais e que serão realizadas dentro desse tema pertinente. Além disso, é importante salientar que o presente trabalho se dará mais especificamente sobre os sistemas fotovoltaicos. Esse foi escolhido por ser um dos sistemas mais promissores de energia renovável e por apresentar condições e aplicabilidades práticas para o desenvolvimento da pesquisa (REN et al., 2020).

Quanto ao setor escolhido para a aplicação do estudo, escolheu-se o setor de serviços por esse apresentar grande representatividade na economia brasileira. Em 1997, o setor de serviços e comércios apresentava 69% do valor adicionado ao Produto Interno Bruto (PIB). Em 2018 esse setor passou a representar 73% do PIB brasileiro, demonstrando um pequeno avanço e justificando a representatividade e estabilidade desse setor (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2019).

Por outro lado, os estabelecimentos do setor comercial e de serviços estão cada vez mais cautelosos e preocupados com os gastos sobressalentes com energia, pois apesar desse setor ser um dos mais relevantes da economia brasileira, é também um dos maiores consumidores de energia do país. O consumo final de energia deste setor deve crescer ao passo de 3,3% a.a., entre 2018 e 2019. E é importante ressaltar que mais de 90% da energia consumida desse setor é a energia elétrica, tornando-a uma variável pertinente para análises. Além disso,

dentre os subsetores do setor de serviços, percebe-se o maior investimento de *shoppings* e supermercados em medidas de eficiência energética, como geração distribuída. Isso apresenta um espaço relevante para estudos (PEREIRA JR; AMARO., 2018).

Diante disso, percebe-se que a energia elétrica vem se tornando uma importante variável para análise e estudo, a qual busca-se otimizar o consumo energético e consequentemente reduzir os custos do estabelecimento comercial. É uma das alternativas para a geração e consumo energético eficiente é a instalação de sistemas de energia renovável dentro do setor de serviços. Porém existem ainda barreiras a serem ultrapassadas, como os altos gastos iniciais com essas tecnologias e que às vezes as tornam inviáveis dentro do orçamento das lojas. Entretanto pode-se reparar que esse é um tema relevante, que está sendo desenvolvido dentro do setor de serviços e possui ainda amplo espaço para desenvolvimento. Um dos intuitos deste trabalho é contribuir para a evolução desse tema que está emergindo no Brasil (ABSOLAR, 2020).

É importante salientar que neste estudo também é realizado uma análise de viabilidade ambiental do projeto. Acredita-se que esse é um importante passo para obter informações relevantes sobre o impacto ambiental de alguma atividade desenvolvida e observar quais cenários são mais sustentáveis do ponto de vista ambiental. Além disso, a utilização de metodologias como a Pegada de Carbono é útil para o desenvolvimento do trabalho no âmbito ambiental, pois são capazes de determinar claramente quais os impactos que o desenvolvimento de um projeto ou atividade causam no meio ambiente. Vale ressaltar a importância e relevância em abordar as questões tratadas pelas políticas de redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), pois essas estão incluídas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e possuem metas específicas para vários países até 2030. Então, pode-se dizer que analisar a viabilidade ambiental desse projeto é pertinente, tendo em vista a preocupação e importância mundial que vêm sendo dada ao tema (PINTO et al., 2020).

Este trabalho está dividido em cinco seções. A primeira seção refere-se à introdução do trabalho. A segunda seção apresenta o referencial bibliográfico utilizado para compor o trabalho. A terceira seção demonstra a metodologia que será utilizada para compor o trabalho. A quarta seção refere-se à discussão dos resultados obtidos e a quinta seção apresenta a conclusão após o desenvolvimento do estudo.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico aborda os principais assuntos que serão discutidos no decorrer deste trabalho, descrevendo o conceito de energia renovável, painel fotovoltaico, pegada de carbono, objetivos de desenvolvimento sustentável, viabilidade do projeto e pesquisas recentes.

### 2.1 ENERGIA RENOVÁVEL

Diante do cenário atual, existe uma constante escassez dos recursos fósseis e uma crescente demanda de energia, percebe-se a preocupação das organizações mundiais quanto ao desenvolvimento de Sistemas de Energia Renovável (SER). O intuito principal desses sistemas é assegurar uma qualidade de vida adequada às gerações futuras e proporcionar um controle eficiente dos problemas ambientais (BAKIĆ et al., 2012).

De acordo com Silveira et al. (2013), a energia renovável é proveniente de uma fonte abundante que concede uma exploração ilimitada desde que seu uso seja feito de uma forma consciente. Os principais exemplos de recursos naturais que podem proporcionar a geração da energia renovável são a luz solar, os ventos (eólica), a água (hídrica), as marés (maremotriz), o calor da terra (geotérmica) e a biomassa.

Para Marimuthu e Kirubakaran (2013), a vantagem predominante dos SER's são as baixas emissões de GEE (gases do efeito estufa) frente aos sistemas de geração por meio de recursos não-renováveis, como carvão, petróleo e gás natural. Em contrapartida, segundo Hosseini (2019), a principal barreira para o progresso dos sistemas alternativos de geração é devido aos altos custos para a implantação desses. Com isso, diversas vezes o desenvolvimento desses projetos acaba sendo inviabilizado por questões financeiras.

Sendo assim, a realização de estudos nessa área mostra-se cada vez mais útil e necessária. Varun, Prakash e Bhat (2009) afirmam que diversos trabalhos práticos e teóricos estão sendo incentivados e desenvolvidos ao redor do mundo com o intuito otimizar os SER's e torná-los viáveis frente ao método de geração de energia tradicional a partir de combustíveis fósseis.

Um exemplo é o estudo realizado por Bakić et al. (2012) em Belgrado, Sérvia, que analisou o desempenho de um sistema híbrido de geração (fotovoltaico/eólico) usando o método da simulação dinâmica. O intuito foi projetar um sistema energético realístico com base em

dados obtidos durante um ano meteorológico típico que maximize o uso de energia renovável e reduza o uso de combustíveis fósseis.

Outra proposta é de Hossain et al. (2018) que recomenda uma revisão teórica sobre o potencial de geração dos sistemas hidrelétricos na Malásia, apresentando as perspectivas atuais e futuras desses sistemas de pequena e grande escala, as principais vantagens, os incentivos governamentais e as barreiras a serem superadas. Os resultados mostraram que a Malásia apresenta um grande potencial de energia hídrica, em torno de 29.000MW, porém somente 11% desse potencial foi desenvolvido até agora, ou seja, há um grande espaço ainda inexplorado no país. Porém os incentivos governamentais na Malásia e o engajamento da população vêm aumentando quanto ao tema. Para tanto, foram estabelecidos objetivos específicos de energia renovável até 2020, como o desenvolvimento de pequenas centrais hidrelétricas e o aumento da taxa nacional de cobertura de eletricidade.

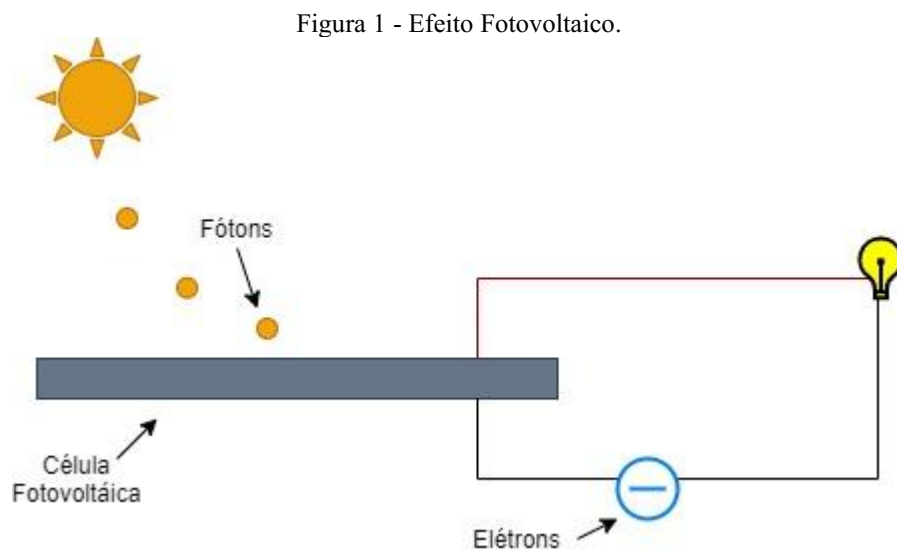
Por outro lado, os pesquisadores Jahanfar, Sleep, Drake (2018) examinaram e compararam por meio de uma análise probabilística, o potencial de geração de energia e os percentuais de emissão de carbono dos sistemas Green-Roof (GR), Fotovoltaico (PV) e GR-PV na cidade de Toronto, Canadá. Foi concluído que os sistemas GR-PV são investimentos de baixo risco e que apresentariam retornos financeiro e ganhos ambientais satisfatórios para Toronto.

Por outra perspectiva, Hosseini (2019) desenvolveu uma análise sobre o recente desenvolvimento dos sistemas de energia solar nos Estados Unidos (EUA) e avaliou a viabilidade de implantação de placas solares em diversos estados do país. O autor concluiu que o desenvolvimento de uma cidade solar nos EUA é plausível tendo em vista a infraestrutura e os recursos disponíveis ao longo de todo país. Ademais, essas características permitem que os formuladores de políticas energéticas dediquem assertivamente um orçamento referente à uma utopia de cidade solar nos EUA.

Com base nos estudos citados acima, o foco do presente trabalho concentra-se na energia solar, pois trata-se de uma energia limpa, sustentável e que em 2019 cresce 212% no Brasil, ou seja, apresenta uma tendência crescente de participação no setor energético. Além disso, esse sistema mostra-se favorável para pesquisa e desenvolvimento em países que possuem um clima tropical e um espaço ainda inexplorado nesse segmento do setor energético (ABSOLAR, 2020). Os tipos de energia solar mais conhecidos são a energia solar térmica (aquecimento de líquidos por meio do calor do sol) e a energia solar fotovoltaica (EPV) (LATIEF et al., 2019). O enfoque deste estudo é dado à energia solar fotovoltaica.

## 2.2 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Os painéis fotovoltaicos (PV's) são os equipamentos necessários para converter a energia solar em eletricidade. Os PV's são compostos por células fotovoltaicas provenientes de materiais semicondutores, como o silício e o selênio. Quando os fótons resultantes da luz solar atingem essas placas, os elétrons das células fotovoltaicas são deslocados, gerando assim a corrente elétrica (MEKHILEF; SAIDUR; SAFARI, 2011). A Figura 1 ilustra esse Efeito Fotovoltaico.



FONTE: Adaptado de solstício energia, 2017.

Os PV's são divididos basicamente em dois grupos: *off-grid* e *on-grid*. O sistema *off-grid* é autônomo e não precisa estar conectado à rede de distribuição; como por exemplo os PV's domésticos. A principal vantagem desses sistemas é a possibilidade de instalação em regiões remotas, atendendo as populações rurais. Já os sistemas *on-grid* necessitam de acesso à rede de distribuição e estão presentes nas regiões urbanas, além de possibilitarem a obtenção de créditos de energia ao consumidor. O presente estudo aborda um sistema PV *on-grid* (TIMILSINA et al., 2012).

Uma característica importante das tecnologias PV's é o fato dessas não contribuírem para intensificação de alguns problemas ambientais, como chuva ácida, poluição do ar, aquecimento global, etc. Portanto, pode-se dizer que a geração de energia por meio desse sistema é limpa e sustentável (CHOUDHARY; SRIVASTAVA, 2019).

Os sistemas solares apresentam algumas características vantajosas frente a outros SER's. Por exemplo, eles são mais sustentáveis se comparados às plantas hidrelétricas que causam danos ambientais ao redor de suas instalações e são mais silenciosos se comparados aos sistemas de energia eólica (SAMPAIO; GONZÁLES, 2017).

Porém, apesar das emissões de GEE serem mitigadas durante as operações dos sistemas EPV, é possível constatar por meio de Análises do Ciclo de Vida (ACV) que algumas etapas da vida útil desses sistemas, como na fabricação e transporte dos equipamentos, emitem uma certa quantidade de carbono na atmosfera. Ou seja, as tecnologias PV's não estão totalmente livres das emissões de GEE durante seus ciclos de vida (NIAN, 2016; VARUN; PRAKASH; BHAT, 2009).

Não obstante, a constante redução dos custos com placas solares nos últimos anos, atrelada ao aumento dos incentivos governamentais (BURTT; DARGUSCH, 2015), torna o mercado de PV's o mais promissor dentro do setor de energias renováveis. Atualmente diversos países ao redor do mundo estão promovendo os sistemas com placas solares pelo fato destas serem alternativas na geração de energia que apresentam baixo custo de manutenção e operação, além de contribuírem para a descarbonização dos setores elétricos (CHAIANONG; PHARINO, 2015).

Diante disso, é fundamental que pesquisas sejam desenvolvidas visando explorar o potencial de geração dos PV's. Por exemplo, o estudo realizado por Suárez-García et al. (2017), que teve como objetivo analisar o desempenho e os benefícios potenciais da instalação de PV's em edifícios da Escola Militar Naval Espanhola (ENM) de Marín, Espanha. Com base na demanda energética da ENM, os resultados mostraram que a energia total produzida e os ganhos ambientais com a adoção dos PV's seriam satisfatórios, pois a energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos poderia atender toda a demanda energética da escola. Além disso, caso o excedente de energia produzido dos PV's seja vendido para a rede de energia elétrica local, o tempo de retorno do investimento seria próximo de 9 anos.

Em relação ao contexto nacional, o Brasil apresenta grande atuação dos sistemas de energias renováveis em sua matriz energética (MORAIS et al., 2020). Porém, no que diz respeito aos sistemas fotovoltaicos, em 2018 esses representavam apenas 0,82% da matriz energética brasileira, com capacidade de geração em torno de 1,3 GW, ou seja, ainda havia considerável espaço para o desenvolvimento dessa tecnologia (ANEEL, 2018). No entanto, a geração de energia solar a partir de painéis fotovoltaicos vem aumentando consideravelmente dentro do cenário nacional, isso deve-se principalmente aos incentivos e linhas de financiamento estabelecidos, além da queda de preços da tecnologia. Em 2019 já existiam 82,6

mil usinas de energia solar com cerca de 870 megawatts (MW) instalados no total, um aumento em relação ao ano anterior (ANEEL, 2019).

Em 2020 as usinas solares já representam 1,68% da matriz elétrica brasileira, um aumento em relação aos dois anos anteriores. Sendo assim, tendo em vista a localização e o clima propício do país, o Brasil apresenta um alto potencial de captação e aproveitamento da energia fotovoltaica, dessa maneira percebe-se que ainda há grande espaço para a promoção e desenvolvimento desta tecnologia no território nacional (ABSOLAR, 2020).

Por fim, é importante salientar que para avaliar o desempenho do ciclo de vida dos PV's frente aos impactos e ganhos ambientais e para auxiliar os investidores a tomarem as melhores decisões, existem ferramentas como o Tempo de Retorno de Carbono e a Pegada de Carbono (CARVALHO et al., 2019). O próximo tópico aborda a Pegada de Carbono.

### 2.3 PEGADA DE CARBONO

A Pegada de Carbono é definida como uma medida que calcula a quantidade de  $CO_2$  e outros GEE emitidos na atmosfera durante o ciclo de vida de uma atividade, empresa, processo ou produto (DE SIMÓN-MARTÍN et al., 2017). No presente estudo, o ciclo de vida analisado contempla as etapas do processo produtivo do painel solar em questão, desde sua fabricação até seu descarte final.

De acordo com Pinto et al. (2020), a fórmula para o cálculo da Pegada de Carbono é a seguinte:

$$PC_{CO_2} = \frac{EPV_{CO_2}}{EP_{Total}}$$

Equação 1 – Equação Pegada de Carbono

Onde:

$PC_{CO_2}$  = Pegada de Carbono ( $kg\ CO_2eq.\ kWh^{-1}$ );

$EPV_{CO_2}$  = Quantidade líquida de emissões da placa durante seu ciclo de vida ( $kg\ CO_2eq.$ )

$EP_{Total}$  = Energia total produzida pelo PV durante sua vida útil (kWh).

Por meio deste cálculo é possível obter informações fundamentais que evidenciam os impactos ambientais causados por determinado processo ou serviço. Obter essas informações é

essencial para conseguir reduzir os níveis de GEE lançados na atmosfera, e assim, retardar problemas ambientais como aquecimento global (CHEN et al., 2020).

Diversos estudos estão sendo desenvolvidos com o intuito de analisar e comparar o desempenho ambiental de alguns sistemas de geração de energia em relação a outros, a partir da utilização de ferramentas como a Pegada de Carbono. A pesquisa realizada por Carvalho et al. (2019) no Brasil, teve por objetivo principal calcular a Pegada de Carbono associada a um sistema residencial de geração de energia com base em telhas fotovoltaicas comparando com um sistema de placas solares. Os resultados mostraram que o sistema com painéis fotovoltaicos apresentou uma Pegada de Carbono inferior ao sistema com telhas fotovoltaicas, 950 kg  $CO_2$ eq. e 1160 kg  $CO_2$ eq. respectivamente.

Quanto ao trabalho desenvolvido por Pinto et al. (2020), a pesquisa teve por intuito calcular a Pegada de Carbono e os ganhos ambientais de uma usina solar fotovoltaica presente no estado de Minas Gerais, Brasil, com base em uma análise de sensibilidade. Para estimar a Pegada de Carbono desta instalação foi considerada a parcela de emissão de cada material separadamente e que contribuiu para a construção da planta. Logo, foi necessário recolher informações dos fornecedores ou a partir de fontes confiáveis. Levando em conta um tempo de vida útil da planta de 25 anos, os resultados mostraram uma Pegada de Carbono igual à 65,8 kg  $CO_2$ eq.  $kWh^{-1}$  e um Tempo de Retorno de Carbono de 11,8 anos. Esses resultados mostram que a implantação dos painéis fotovoltaicos pode trazer benefícios ambientais a rede elétrica brasileira, podendo gerar eletricidade com baixa emissão de carbono.

O desenvolvimento dessas pesquisas demonstra a importância e a relação que a Pegada de Carbono tem com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), principalmente no que diz respeito à proteção ao meio ambiente e ao enfrentamento às mudanças climáticas por meio da geração de uma energia limpa e sustentável (ODS 7 - Energia Limpa e Acessível, 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis e 13 - Combate às Alterações Climáticas) (Nações Unidas Brasil, 2015). O próximo tópico aborda com maior profundidade sobre os ODS.

## 2.4 OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável foram definidos após inúmeros esforços da ONU (Organização das Nações Unidas) em promover uma sociedade mais justa, igualitária e que respeitasse o meio ambiente. Na Conferência de Estocolmo, em 1972, foi a primeira vez em que foi abordado o tema: Desenvolvimento Sustentável. Anos depois, em

2000, foram elaborados os Objetivos do Milênio (ODM), antecessores dos ODS (IDEIA SUSTENTÁVEL, 2019).

No ano de 2015, os países das Nações Unidas (NU) assumiram responsabilidade sobre uma agenda de desenvolvimento sustentável e chegaram em um acordo que visa acabar com a pobreza, eliminar as desigualdades, as discriminações e promover a prosperidade econômica e ambiental até 2030. Diante disso, foram compostos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015) representados na Figura 2.

Figura 2 - Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



FONTE: ONU Brasil, 2020.

Após uma análise da Figura 2, pode-se concluir que os sistemas solares fotovoltaicos contemplados no presente estudo estão atrelados a alguns ODS que são percorridos a seguir.

- Energia Limpa e Acessível (7), esse objetivo busca garantir o acesso seguro, moderno, sustentável e a preço acessível à energia a toda comunidade.
- Cidades e Comunidades Sustentáveis (11), esse ODS tem o intuito de transformar as cidades e as acomodações humanas inclusivas, preservadas, resistentes e sustentáveis.
- Ação Contra a Mudança Global do Clima (13), essa meta tem o objetivo elaborar e executar ações que combatam as mudanças climáticas e suas consequências até 2030 (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015).

Desse modo, percebe-se a importância e relação que o tema, “Energia Renovável” tem dentro do contexto geral de alguns ODS. Essa relação é evidenciada por algumas características dos sistemas renováveis de geração energética, como a geração de energia limpa e sustentável, o aumento dos incentivos governamentais e pesquisas de viabilidade que proporcionam maior acessibilidade à tecnologia, e a mitigação de problemas ambientais como emissão de GEE.

De acordo com Simsek et al. (2020), os ODS são metas similares e presentes em todos os países desenvolvidos e que precisam ser medidas e monitoradas ano após ano com o intuito de obter uma visão geral do progresso de cada uma. Além disso, se um país foca na questão da energia renovável e mudança climática e está trabalhando em cima disso, é recomendável que os demais países desenvolvidos abordem outras metas, como erradicação da fome, educação de qualidade, entre outras. Desse modo é possível assegurar um progresso sólido para alcançar as necessidades estipuladas para todos os ODS.

Apesar de muitos países já estarem engajados e preocupados com as questões ambientais, sociais e culturais, é necessário ainda que haja um maior esforço e estímulo governamental a fim de modificar e desenvolver de forma sustentável alguns setores do país, como por exemplo, o setor de geração de energia. Logo, é de suma importância o desenvolvimento de pesquisas que têm por objetivo analisar, estudar e fomentar práticas de geração de energia limpa e sustentável para o setor energético nacional (SIMSEK et al., 2020).

## 2.5 VIABILIDADE DE PROJETO

Este tópico contempla as principais ferramentas para análise econômica e financeira e a viabilidade ambiental do projeto, abordando seus conceito e aplicações.

### 2.5.1 Viabilidade Econômica e Financeira

A engenharia econômica é de extrema importância para a avaliação de investimentos e finanças em geral. A tomada de decisão em relação aos investimentos em uma empresa depende de ferramentas de engenharia econômica, as quais a partir do uso destas ferramentas possibilitam realizar a avaliação das oportunidades apresentadas (MOTTA et al., 2019).

Para o estudo de viabilidade econômica de um projeto, são utilizados métodos qualitativos de análise de investimentos, os quais são baseados em um modelo convencional de



fluxo de caixa, ou seja, em que há uma única saída de caixa relevante na origem do projeto, e seguida pelos ganhos futuros esperados. O valor de um projeto é baseado na capacidade que possui em gerar fluxo de caixa futuro, sua capacidade de gerar lucro. Desta forma só é permitido a comparação caso os resultados monetários possuam um ponto em comum no tempo, como as operações de investimento possuem um espaçamento entre os fluxos de caixa durante o período de tempo, avaliação econômica deve ser considerada a atualização ou desconto dos fluxos (SAMANEZ, 2002).

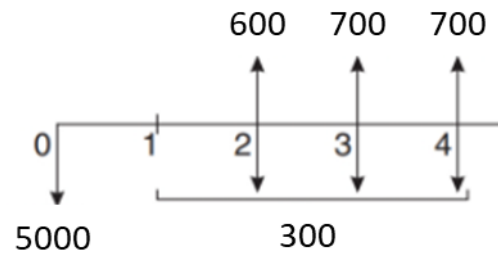
Para Motta et al. (2009), o principal objetivo de uma análise de investimentos é obter uma estimativa do valor em que determinado projeto agregará ao negócio ou uma determinada oportunidade. Os métodos mais utilizados e conhecidos para a análise de uma viabilidade econômica, descontando fluxos de caixa, são dois, o VPL – Valor Presente Líquido, e o TIR – Taxa Interna de Retorno, porém algumas vezes é necessário saber o tempo em que o investimento será recuperado, nesse caso, utiliza-se o Payback (MOTTA et al. 2009; SAMANEZ, 2002).

#### 2.5.1.1 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa é uma ferramenta utilizada para a gestão financeira, a qual permite realizar projeções futuras de toda entrada e saída de recursos durante um determinado período. Considerado um instrumento de fácil elaboração, pode ser utilizado para monitorar finanças, e também auxiliar em tomadas de decisão. Podendo ser empregado em diversas organizações, investimentos, projetos, operações financeiras e outros, o fluxo de caixa possui uma estrutura maleável, onde a organização incluirá informações referentes a entradas e saídas de acordo com sua necessidade (ALVES et al. 2017).

No diagrama (Figura 3), a linha horizontal representa o intervalo ou período que pode ser em meses, trimestres ou anos, os pontos na reta representam o fim de um período ou início do período seguinte, os valores são representados por flechas, onde para baixo significa as saídas (negativas), e para cima as entradas (positivas), e em caso de valores de entradas ou saídas sejam consecutivas é costume indicá-los por uma reta horizontal encimada pelo valor comum. Na tabela (Figura 4) é relacionado os fluxos líquidos de cada período aos instantes correspondentes, representando os mesmos valores da Figura 3 (TORRES, 2006).

Figura 3 – Exemplo de Diagrama de Fluxo de Caixa



FONTE: Autoria Própria, 2020.

Figura 4 – Exemplo de tabela de Fluxo de Caixa

Período	Valor
0	-5000
1	0
2	300
3	400
4	400

FONTE: Autoria Própria, 2020.

Problemas de engenharia econômica envolvem receitas e despesas que acontecem em períodos diferentes, por este motivo é importante utilizar uma representação para visualizar cada situação, deste modo, o fluxo de caixa pode ser empregado, e ser modelado por diagrama ou tabela.

### 2.5.1.2 Payback

Considerado uma das técnicas de análises de investimentos mais comuns que existe, o *payback* leva em conta o tempo do investimento feito, o qual é um indicador em que quanto menor for o período de tempo apresentado, significa um melhor resultado (ASSAF NETO & LIMA). O *payback* traz o tempo de retorno do capital investido, onde o valor é adicionado de período a período aos fluxos de caixa líquidos gerados para obter o tempo de recuperação do investimento inicial. Um fator considerado no *payback* é a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que é qualquer taxa mínima de juros que torna interessante ao investidor escolher por determinado projeto de investimento. Ao final, o *payback* acontece no período em que a soma dos fluxos de caixa futuros é igual ao investimento inicial (BORDEAUX-REGO, 2015). O cálculo do *payback* é realizado através da Equação 2.

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FCt}{(1+r)^t}$$

Equação 2 – Equação *payback*

Onde:

IV – Investimento;

FCt – Fluxo de Caixa no período t;

I – Custo de capital.

R – Taxa Mínima Aceitável (TMA);

t – Período;

Com os resultados obtidos pelo cálculo do *payback*, o investidor obterá uma estimativa do tempo necessário para o retorno financeiro do seu investimento.

### 2.5.1.3 Valor Presente Líquido

De acordo com Samanez (2002), o Valor Presente Líquido (VPL), consiste em valorar o impacto de eventos referentes a projetos ou opções de investimentos, ou seja, mede o valor presente dos fluxos de caixa que são gerados ao longo da vida útil de um projeto.

De acordo com Puccini (2011), o VPL é uma medida do valor presente da riqueza futura gerada por um projeto, este método exige uma definição prévia de uma taxa de atratividade, o qual é utilizada para ser descontada no fluxo de caixa. O projeto ao ser analisado pelo VPL, tem como critério de decisão em que se aceita projetos com um VPL maior ou igual a zero, e rejeitam-se os projetos que apresentam VPL menor que zero.

O VPL corresponde a uma fórmula matemática, onde se determina o valor presente de pagamentos futuros, os quais são descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial. O valor presente líquido é obtido através do desconto de todos os fluxos de caixa para o momento inicial trazendo à data zero do investimento o valor dos fluxos financeiros (DE ARAÚJO et al., 2011; GONÇALVES et al., 2009). O cálculo do Valor Presente Líquido é realizado através da Equação 3.

$$VPL_{(i)} = \left[ \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} \right]$$

### Equação 3 – Equação Valor Presente Líquido

Onde:

$r$  = Taxa de desconto ou TMA;

$t$  = Período genérico ( $t = 0$  a  $t = n$ ), percorrendo todo o fluxo de caixa;

$F(t)$  = Fluxos previstos de receitas (entradas) ou despesas (saídas) no período “ $t$ ” ( $0 < t \leq n$ );

$VPL_i$  = Valor presente líquido descontado a uma taxa  $i$ .

Com o valor obtido mediante fórmula 2, o critério de decisão relacionado ao uso do VPL é:

$VPL > 0$ , o projeto é economicamente viável, ou seja, traz um retorno positivo aos investidores e deve ser investido.

$VPL = 0$ , o projeto não apresenta retorno e nem prejuízo aos investidores;

$VPL < 0$ , o projeto não é viável, e traz prejuízo aos investidores e não deve possuir continuidade

#### 2.5.1.4 Taxa Interna de Retorno

O conceito da taxa interna de retorno (TIR) é de extrema importância na análise de investimentos. A TIR é definida como uma taxa de juros que torna nulo o valor presente de um fluxo de caixa que permite encontrar a remuneração de um determinado investimento em termos percentuais, e encontrar a TIR, significa obter o percentual exato de remuneração que o investimento oferece (PUCCINI, 2011; TORRES, 2004).

A TIR é a taxa de retorno esperada do projeto de investimento, este método não tem como objetivo a avaliação de rentabilidade absoluta em relação ao custo de capital, seu objetivo é encontrar uma taxa específica de rendimento (SAMANEZ, 2009). A TIR é calculada por meio da Equação 4.

$$\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+Tir)^j} = 0$$

#### Equação 4 – Equação Taxa Interna de Retorno

Onde:

$FC_0$  = Investimento inicial;

$FC_j$  = Fluxo de caixa de ordem no período  $j$ ;

$Tir$  = Taxa interna de retorno.

O critério para análise, ao utilizar a TIR é de “aceitar-rejeitar”, em que se a TIR for maior que o custo de capital ou Taxa Mínima de Atratividade (TMA), aceita-se o projeto; caso a TIR seja menor que a TMA ou o custo de capital, recusa-se o projeto (TORRES, 2004).

#### 2.5.1.5 Análise de Cenários

A construção de cenários é uma importante ferramenta para identificar e analisar a possibilidade de acontecimentos relevantes para um determinado negócio (HAMEL & PRAHALAD, 1995).

Para a construção de uma análise de cenários deve-se escolher as variáveis que sejam pertinentes e importantes no projeto, a fim de atribuir valores para uma provável situação otimista, provável e pessimista. A partir dos resultados obtidos é possível realizar análises das informações encontradas e tomar decisões diante das opções mais viáveis e que estão alinhadas com os objetivos do projeto. A explicação acima pode ser exemplificada pelo estudo realizado por Di Leo, et al. (2021) o qual teve como objetivo principal investigar, com base em uma análise de cenários, o possível desenvolvimento futuro do sistema energético de Basilicata (Itália) confrontando com as expectativas e visão de longo prazo da Comissão Européia. A metodologia IEA-ETSAP foi utilizada para elaborar dois cenários de descarbonização e alta eficiência energética. Os resultados mostram que a geração de energia por meio de fontes alternativas vai além do previsto no Plano Energético – Ambiental da Basilicata 2010. Além disso, este trabalho mostrou como é válida a aplicação da ferramenta de análise de cenários para auxiliar as autoridades regionais a tomar decisões a fim de obter resultados alinhados com as expectativas nacionais e europeias.

#### 2.5.2 Viabilidade Ambiental

Com os impactos ambientais causados pela geração de energia, vários questionamentos têm sido levantados referente às fontes energéticas, principalmente pela emissão de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) lançados na atmosfera, o qual contribui para a acumulação de gases do efeito estufa (INEEL, 2009).

A utilização de Energia Limpa e Acessível é um dos Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, onde busca-se expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia que sejam sustentáveis e modernos (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015).

Atrelando os esforços mundiais para utilização de fontes energéticas sustentáveis e as necessidades em redução de poluentes como o dióxido de carbono, uma alternativa é a geração de energia através de placas solares.

A energia solar é uma das matrizes energéticas mais promissoras quando se aborda os desafios deste milênio e é considerada uma fonte inesgotável. O Brasil possui um grande potencial energético, ainda pouco explorado, apresentando um alto nível e baixa variabilidade da irradiação solar (PEREIRA et al., 2017).

A utilização da energia solar é vista como um importante fator no desempenho da expansão da matriz elétrica brasileira, pois o aproveitamento do recurso solar no Brasil é uma excelente opção para complementar as fontes energéticas convencionais. Seu uso favorece o controle hídrico de reservatórios principalmente nas estiagens, o que permite um planejamento e otimização de investimentos em sistemas de geração e distribuição de energia (PEREIRA et al., 2017).

Considerando os principais problemas ambientais causados pela geração de energia elétrica, e atribuindo a energia solar os benefícios apresentados pelos diversos autores, a análise da viabilidade ambiental da geração de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos pode ser analisada pela pegada de carbono, o qual busca-se a mensuração da emissão de gases de efeito estufa.

A elaboração de inventários de gases de efeito estufa (GEE), é a primeira etapa a se realizar, para que uma organização contribua com o combate às mudanças climáticas, uma das metodologias para a realização deste inventário é o *The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard* (O Protocolo de Gases de Efeito Estufa – Um padrão Corporativo de Contabilização e Reporte), conhecido como GHG Protocol, o qual foi lançado em 1998, revisado em 2004. Atualmente o GHG é a ferramenta mais utilizada mundialmente por empresas e governos para quantificar, entender e gerenciar suas emissões (MONZONI, 2008).

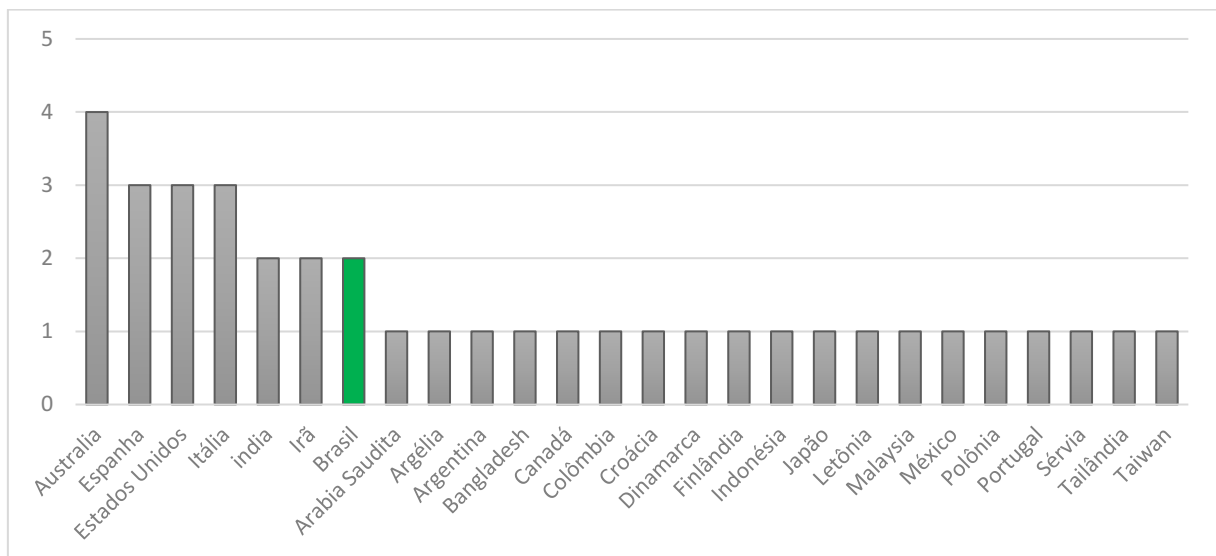
Estabelecendo os limites do inventário, costuma-se calcular as emissões de gases de efeito estufa de acordo com os seguintes passos: 1. Identificar fontes de emissão; 2. Escolher abordagem de cálculo; 3. Coletar dados e escolher fatores de emissão; 4. Aplicar as ferramentas de cálculo; 5. Compilar dados no nível corporativo (QUEIROZ; GARCIA, 2011).

## 2.6 PESQUISAS RECENTES: APLICAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES

Esse último tópico do referencial bibliográfico aborda algumas das pesquisas mais recentes voltadas ao tema, além de algumas relações e importâncias da aplicação desses estudos dentro do setor de serviços. Isso traz ao leitor uma visão geral dos trabalhos atuais desenvolvidos e a pertinência do tema.

Foram encontrados 43 artigos científicos relacionados ao tema, destes foram analisadas as informações sobre a viabilidade econômica e financeira, ambiental, pegada de carbono, barreiras e facilitadores para o uso do sistema. Estes estudos encontrados foram realizados em diversos países, os quais possuem a relação de publicação por país representados graficamente na Figura 5.

Figura 5 - Relação de publicações selecionadas por país.

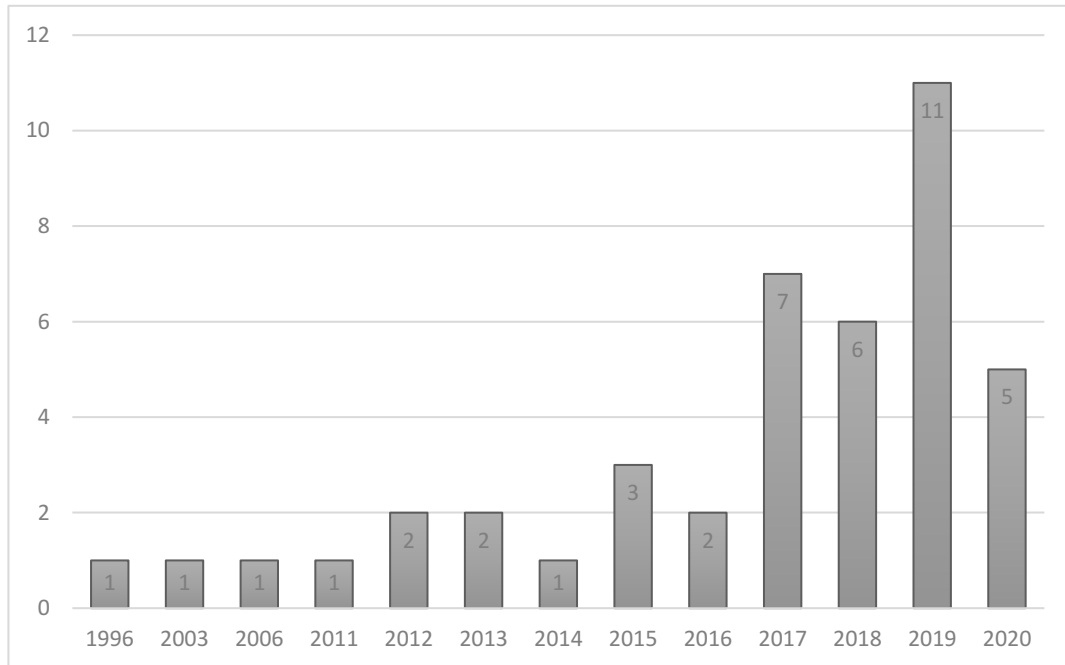


FONTE: Autoria Própria, 2020.

De acordo com o gráfico da Figura 5, é possível observar que a maioria dos artigos relevantes para este estudo, concentram-se na Austrália, o qual possui 4 artigos publicados pertinentes ao tema, seguido por estudos na Espanha, Estados Unidos e Itália, com 3 publicações em cada país. É relevante também, observar que Índia, Irã e Brasil, possuem 2 artigos relevantes para este estudo, e que os demais países, apenas uma publicação.

Analisando o período de publicação destes artigos relevantes, apresenta-se a relação de ano por publicação, o qual é exibido graficamente na Figura 6.

Figura 6 - Relação de artigos por ano



FONTE: A autoria Própria, 2020.

Os estudos pertinentes ao tema selecionados neste trabalho são em sua maioria publicações de 2019. De acordo com a Figura 6, é possível observar que o tema é mais abordado a partir de 2017. Destes artigos selecionados, os principais estudos são abordados a seguir.

Determinado estudo teve por objetivo investigar através de uma perspectiva multivariada a emergência do sistema solar fotovoltaico no Brasil e identificar as oportunidades e desafios para o crescimento dessa tecnologia no país. De acordo com os autores, a evolução dessa tecnologia no Brasil depende de iniciativas interdependentes. Iniciativas como, a elaboração de um plano de longo prazo para essa tecnologia com o estabelecimento de metas e objetivos claros e robustos, a fim de trazer segurança tanto para o setor como para os investidores. Além disso, é fundamental que o governo continue promovendo os incentivos fiscais e financeiros, o que favorece o desenvolvimento de atividades econômicas desses sistemas. Pois ao modo em que se torna viável a instalação de um painel solar em um estabelecimento prestador de serviços, será reduzido o consumo energético desse estabelecimento e também aumentará a demanda de comercialização dessa tecnologia, favorecendo a renda dos empreendimentos desses ramos (DOS SANTOS CARSTENS; DA CUNHA, 2019).



A potência instalada de energia solar no setor de serviços no Brasil apresentou uma alta de 106% no primeiro semestre deste ano comparado ao do ano passado, passando de 199MW para 411MW. Esses valores mostram o quão ascendente está o sistema geração solar no Brasil, mesmo diante de problemas econômicos que surgiram no ano de 2020 por conta da *covid-19* (ABSOLAR, 2020).

Outro estudo teve por objetivo analisar a viabilidade econômica da implantação de painéis fotovoltaicos para grandes consumidores no Brasil. Para isso, foi simulado através de modelos estatísticos os futuros cenários de consumo, geração e picos de demanda de energia elétrica das placas solares instaladas. Isso tudo foi desenvolvido com o intuito de trazer estimativas precisas do impacto desses projetos sobre os custos e economias dos estabelecimentos, tendo em vista a imprevisibilidades das variáveis envolvidas e os riscos que podem ser assumidos com a implantação de sistemas tecnológicos. Os resultados finais mostram que os modelos aplicados e as variáveis consideradas são eficientes a fim de reduzir os riscos da implantação de PV's em grandes estabelecimentos consumidores de energia, como do setor de prestação de serviços. Além disso, os autores recomendam a utilização desse trabalho como base para o desenvolvimento de estudos futuros, salientando que seria interessante utilizar uma análise explícita de longa prazo a fim de ajustar a diferença entre a energia consumida e a contada (LIMA; CÉSPEDES G., 2019).

Suárez-Garcia (2017), com o objetivo de analisar os benefícios potenciais da instalação de painéis fotovoltaicos em vários edifícios da Escola Militar Naval Espanhola (Escuela Naval Militar, ENM) de Marín, mostrou uma análise de viabilidade econômica das instalações com base no Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno, o qual para o cálculo do VPL foi considerado uma vida útil de 25 anos para o equipamento. Para a viabilidade ambiental, o estudo apresentou uma redução de 10% na emissão de gases de efeito estufa, ao utilizar o sistema fotovoltaico, comparado com um sistema de produção de energia baseado em combustível fóssil.

Em um estudo realizado por Hosseni (2019), mostra que devido à crescente demanda de energia, juntamente com a escassez dos combustíveis fósseis, a busca por geração de energia proveniente de fontes renováveis torna-se cada vez maior. A principal barreira para a implementação de um sistema fotovoltaico é o alto custo para a implantação.

Ren et al. (2020) realizaram em seu estudo uma avaliação de custos para avaliar a demanda acumulada de energia, pegada de carbono, pegada hídrica e ciclo de vida e custos dos sistemas fotovoltaicos conectados às redes residenciais. O retorno do investimento se dá em 18 anos, e a utilização do sistema reduziu consideravelmente os impactos ambientais.

Ao realizar uma análise probabilística para examinar e comparar o potencial de energia e as emissões de carbono de um sistema fotovoltaico Jahanfar (2018) mostra que painéis solares PV podem alcançar uma vida útil de 20 à 30 anos, e que com uma instalação generalizada do sistema GR-PV, a cidade de Toronto teria uma redução de 11% à 19% das emissões de carbono na atmosfera, e os sistemas PV instalados isoladamente apresentaram uma redução de 7% à 11%. O autor coloca que um facilitador para o uso do sistema seria a redução do consumo de combustíveis fósseis e emissão de gases de efeito estufa.

O cenário político é um fator que impacta na viabilidade econômica da implementação de um sistema fotovoltaico Medidas políticas, subsídios, apoio e outras políticas públicas podem favorecer o uso do sistema fotovoltaico (KISHITA et al., 2017; KORSAVI et al., 2018; CHAIANONG et al., 2015; VINCI, 2019; BURTT et al., 2015).

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a base metodológica utilizada como suporte para a pesquisa realizada e os materiais e métodos que serão utilizados para a aplicação prática. A primeira parte exibirá uma definição de pesquisa, abordagem, objetivos. A segunda parte apresenta como foi desenvolvido o procedimento técnico de busca dos estudos que compuseram o referencial bibliográfico. E a terceira parte apresenta como se dará a busca dos dados, materiais e abordagem das informações necessárias para atender os objetivos específicos do presente trabalho.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esse tópico apresenta os procedimentos da classificação da pesquisa realizada nesse trabalho, iniciando pela definição da natureza da pesquisa, suas abordagens, objetivos e procedimentos técnicos.

##### 3.1.1 Natureza Da Pesquisa

A pesquisa pode ser definida como um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. Seu objetivo fundamental é descobrir respostas para problemas através da utilização de procedimentos científicos (GIL, 2008).

Para Minayo (2016), a pesquisa é a atividade básica da ciência na sua indagação e descoberta da realidade. É um exercício que supre a atividade de ensino e traz uma atualização informacional frente à realidade do mundo. Desta forma, a pesquisa é capaz de proporcionar uma relação das questões investigadas com os interesses e as circunstâncias socialmente condicionadas. O presente estudo apresenta uma natureza de pesquisa aplicada com base em execuções práticas a partir de objetivos pré-definidos.

##### 3.1.2 Abordagem da Pesquisa

A abordagem de um problema pode ser feita de forma qualitativa e/ou quantitativa. O objetivo principal da pesquisa qualitativa não são as representações e conclusões numéricas, e

sim uma compreensão aprofundada de um grupo social ou uma organização, ou seja, este tipo de pesquisa apresenta um caráter mais exploratório sobre um determinado tema (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Por outro lado, de acordo com Fonseca (2002), as pesquisas quantitativas, recorrem à uma linguagem matemática para descrever as relações entre variáveis ou causas de um determinado fenômeno, além disso, este tipo de pesquisa tem como característica a objetividade e seus resultados podem ser quantificados. O presente estudo constitui-se de uma análise quantitativa.

### 3.1.3 Objetivos da Pesquisa

Os objetivos da pesquisa têm o intuito de proporcionar respostas aos problemas propostos. Sua requisição se dá quando não se dispõem de informações suficientes para resolver determinada adversidade ou quando as informações estão em desordem, impossibilitando a adequação ao problema (GIL, 2002).

### 3.1.4 Procedimentos Técnicos da Pesquisa

De acordo com Silva e Menezes (2002), a pesquisa é um procedimento de busca de respostas para problemas ainda não selecionados, e seu planejamento e execução abrange um processo sistematizado que compreende as seguintes etapas:

1) escolha do tema; 2) revisão de literatura; 3) justificativa; 4) formulação do problema; 5) determinação de objetivos; 6) metodologia; 7) coleta de dados; 8) tabulação de dados; 9) análise e discussão dos resultados; 10) conclusão da análise dos resultados; 11) redação e apresentação do trabalho científico (TCC, dissertação ou tese).

O presente trabalho científico se classifica, quanto aos procedimentos, como:

- Pesquisa de campo, onde o estudo é realizado pelos investigadores no local onde ocorre o fenômeno. Engloba a coleta de dados, registros e informações sobre o fenômeno e que são pertinentes para o desenvolvimento do trabalho.
- Estudo de caso, onde é analisado de forma real e prática um fenômeno que está incluso dentro de um contexto, verificando também as variáveis e parâmetros que o influenciam.

### 3.2 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

Esse tópico apresenta os procedimentos metodológicos e coletas das informações que irão atender os objetivos específicos já estabelecidos deste trabalho. A Tabela 1 demonstra como cada um desses objetivos é contemplado.

Tabela 1 - Procedimentos utilizados para atender os objetivos específicos.

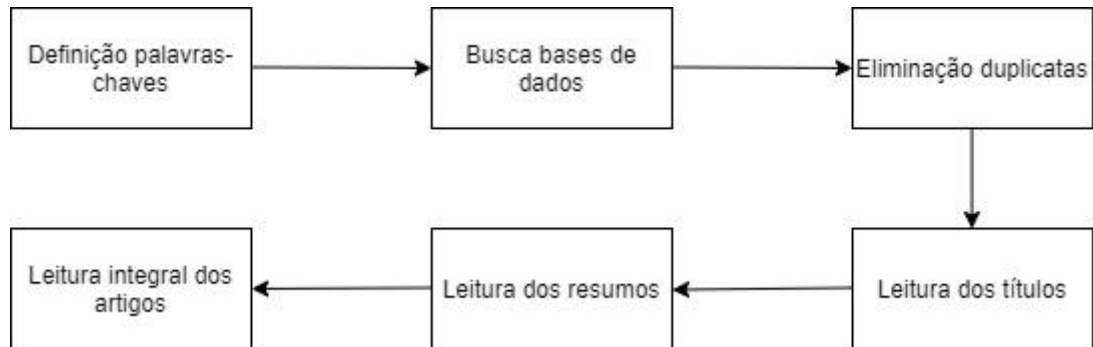
Etapas	Objetivo específico	Metodologia e método utilizado
1	Realizar o levantamento teórico dos temas abordados na pesquisa: setor de serviços, energia renovável, energia solar, objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS's) e ferramentas de engenharia econômica.	Revisão sistemática da literatura.
2	Identificar como se dá o uso de energia em uma rede de postos de combustíveis na cidade de Ponta Grossa/PR.	Estudo de caso com aplicação de questionário para levantamento de dados.
3	Analisar a viabilidade econômica da implantação de painéis fotovoltaicos em um posto de combustível na localidade em estudo.	Ferramentas da engenharia econômica, como Fluxo de Caixa, <i>Payback</i> , Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Mínima de Retorno (TIR) e Taxa Mínima de Atratividade (TMA).
4	Analisar o potencial de emissões de $CO_2$ eq. com e sem o uso dos painéis fotovoltaicos.	Realizada por meio de cálculos de geração específica de $CO_2$ eq./ kWh de energia gerada.
5	Comparar os impactos ambientais em relação aos objetivos de desenvolvimento sustentável.	Análise e comparação dos resultados obtidos com as ODS's que serão beneficiadas com a implantação do projeto.

FONTE: Autoria Própria, 2020.

## ETAPA 1

Essa etapa foi contemplada por meio da busca de artigos relevantes ao tema em bases de dados e que seriam pertinentes à composição do referencial teórico. Esse processo de busca é demonstrado de forma geral pelo fluxograma da Figura 7 e é detalhado mais a fundo.

Figura 7 - Fluxograma de busca do referencial bibliográfico.



FONTE: Autoria Própria, 2020.

O processo de busca do referencial bibliográfico foi aplicado do dia 11/05/2020 ao dia 18/07/2020. A primeira fase diz respeito ao processo de busca para formação do portfólio de artigos que serve de base para o referencial teórico do trabalho. Para tanto, definiu-se as palavras-chaves para busca nas principais bases de dados correspondentes ao assunto pesquisado, *Scielo*, *Scopus* e *Science Direct*. Em todas as bases de dados foram utilizadas as seguintes configurações de pesquisa de artigos: busca avançada, idioma inglês, documentos do tipo artigo e todos os anos. As informações utilizadas e os resultados obtidos podem ser encontrados na Tabela 2, Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 2- Conjunto de palavras-chave relevantes ao tema e sua combinação booleana utilizadas nas plataformas de busca.

(photovoltaic panel* AND carbon footprint)
(photovoltaic panel* AND carbon)
(photovoltaic panel* AND SDG)
(photovoltaic panel* AND Sustainable Development Goals)

(photovoltaic panel* AND Sustainable Development)
---

FONTE: Aatoria Própria, 2020.

Tabela 3 - Quantidade de artigos encontrados na base Web of Science para cada query estabelecida.

<i>Web of Science</i>	
Query	Quantidade
TS=(photovoltaic panel* AND carbon footprint)	26
TS=(photovoltaic panel* AND carbon)	201
TS=(photovoltaic panel* AND SDG)	0
TS=(photovoltaic panel* AND Sustainable Development Goals)	9
TS=(photovoltaic panel* AND Sustainable Development)	69
<b>Subtotal</b>	<b>305</b>

FONTE: Aatoria Própria, 2020.

Tabela 4 - Quantidade de artigos encontrados na base Scopus para cada query estabelecida.

<i>Scopus</i>	
Query	Quantidade
TITLE-ABS-KEY(photovoltaic panel* AND carbon footprint)	39
TITLE-ABS-KEY(photovoltaic panel* AND carbon)	313
TITLE-ABS-KEY(photovoltaic panel* AND SDG)	0
TITLE-ABS-KEY(photovoltaic panel* AND Sustainable Development Goals)	15
TITLE-ABS-KEY(photovoltaic panel* AND Sustainable Development)	169
<b>Subtotal</b>	<b>536</b>

FONTE: Aatoria Própria, 2020.

Tabela 5 - Quantidade de artigos encontrados na base Science Direct para cada query estabelecida.

<i>Science Direct</i>	
Query	Quantidade
Title, abstract or author-specified keywords: photovoltaic panel; carbon footprint	19
Title, abstract or author-specified keywords: photovoltaic panel; carbon	134

Title, abstract or author-specified keywords: photovoltaic panel; SDG	0
Title, abstract or author-specified keywords: photovoltaic panel; Sustainable Development Goals	3
Title, abstract or author-specified keywords: photovoltaic panel; Sustainable Development	66
<b>Subtotal</b>	222

FONTE: Aatoria Própria, 2020.

Após ser realizada essa etapa de busca colocou-se os artigos encontrados nas bases de dados em uma planilha de Excel, eliminou-se as duplicatas e encontrou-se um total de **580** artigos.

A próxima fase foi a leitura do título dos artigos onde foi observada alguma relação com o tema proposto pelo trabalho. Depois de realizar este filtro restaram **94** artigos com potencial de participação.

Logo após essa etapa, leu-se o resumo dos artigos, analisando o objetivo principal, a metodologia utilizada e se havia alguma relação com o tema do projeto que é estudado. Restaram **43** artigos com potencial de participação após a realização deste filtro.

Por fim, leu-se os artigos integralmente, onde anotava-se os seguintes dados e informações: Autores, Título, Year, Journal, Objetivo, Tipo de Estudo (estudo de caso ou teórico), Setor abordado, Tamanho da empresa estuda, País, Informações sobre viabilidade econômica/financeira, viabilidade ambiental, pegada de carbono, ODS.

A aplicação do passo-a-passo do processo descrito, possibilitou selecionar as amostras do referencial bibliográfico, permitindo assim, a construção do referencial teórico.

## ETAPA 2

Essa etapa é contemplada por meio de visitas em postos de combustíveis e aplicação de questionários para coleta de dados, a fim de obter informações concretas e reais para análises posteriores.

Foram realizadas três visitas ao posto de combustível, em abril, maio e junho de 2021. As visitas foram agendadas previamente. Durante as visitas houveram reuniões com o gerente da rede, onde inicialmente foi apresentada a proposta, aplicado o questionário (apêndice A) e realizado o levantamento de área disponível para implantação do sistema, juntamente com a



coleta de dados referente ao consumo de energia elétrica e demais necessidades do estabelecimento.

### **ETAPA 3**

É desenvolvida por meio da utilização prática de algumas ferramentas da engenharia econômica, Fluxo de Caixa, *payback*, *VPL*, *TIR* e *TIR*, entre outras. Estas ferramentas foram escolhidas para obter uma estimativa do retorno financeiro e viabilidade econômica do projeto. Estes métodos são os mais utilizados e conhecidos para as análises dentro da Engenharia Econômica (MOTTA et al. 2009; SAMANEZ, 2002).

### **ETAPA 4**

Para realizar a análise de viabilidade ambiental foi realizado um estudo para encontrar a taxa de emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) ( $t\ CO_2/kWh$ ) para as fontes de geração estudadas, ou seja, quantos kg de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) equivalente são emitidos para cada kWh de energia gerada, comparando a Matriz Elétrica tradicional no Brasil *versus* Painéis Fotovoltaicos.

O fator médio de emissão GEE para as usinas geradoras de eletricidade é 0,062  $tCO_2eq./MWh$ , valor este que representa a geração média das emissões de todas as usinas brasileiras que estão em processamento (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES, 2021). Para sistemas de geração de energia fotovoltaica é 0,027  $tCO_2eq./MWh$ , sendo o fator de emissão de PV tipo Mono Cristalino, valor estimado com base em uma revisão de literatura referente trabalhos na Europa e América do Norte que realizaram um levantamento sobre o fator de emissão dos PV's com base no ciclo de vida dos equipamentos (GERBINET, BELBOOM, LEONARD., 2014). Estes dois valores foram baseados na Análise do Ciclo de Vida dos sistemas, são úteis para encontrar a taxa de emissão de GEE e realizar a análise de viabilidade ambiental comparando o sistema atual com a implantação do projeto.

### **ETAPA 5**

Com base nos resultados obtidos na etapa anterior é realizada uma análise dos benefícios ambientais obtidos com a implantação do projeto, além dos ODS's que este projeto está alinhado e de qual maneira estes objetivos serão auxiliados com a implantação do projeto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados encontrados com base nos objetivos específicos já estabelecidos em tópicos anteriores. As informações e discussões obtidas neste capítulo são base para o desenvolvimento das conclusões do projeto.

### 4.1 COLETA DE DADOS

Este tópico apresenta o plano de coleta de dados e a descrição da visita para a obtenção dos dados utilizados neste trabalho.

#### 4.1.1 Plano de Coleta de Dados

Antes de realizar a visita em campo foi estruturado um Plano de Coleta de Dados com todas as informações que seriam necessárias para o desenvolvimento do projeto. A construção deste formulário foi embasada na obtenção das seguintes informações: visão dos investidores frente ao projeto, dimensões, características do estabelecimento e dados referente ao consumo de energia do estabelecimento. No apêndice A, é exibido o modelo do Plano de Coleta utilizado.

Este Plano de Coleta de Dados antes de ser aplicado foi validado com o responsável do estabelecimento, assegurando uma visita em campo eficiente, e com empresas especializadas na construção de placas solares, certificando que as informações coletadas seriam suficientes para a elaboração dos orçamentos do projeto.

#### 4.1.2 Visita *in loco* e coleta de informações

A visita ao posto de combustível foi realizada dia 22 de maio com duração de 2 horas e acompanhada junto ao gerente do estabelecimento. Os objetivos da visita em campo foram:

- Apresentar ao responsável pelo estabelecimento o propósito do trabalho;
- Coletar informações sobre o investidor;
- Coletar informações sobre o consumo de energia do estabelecimento;
- Coletar informações sobre as dimensões e características do local.

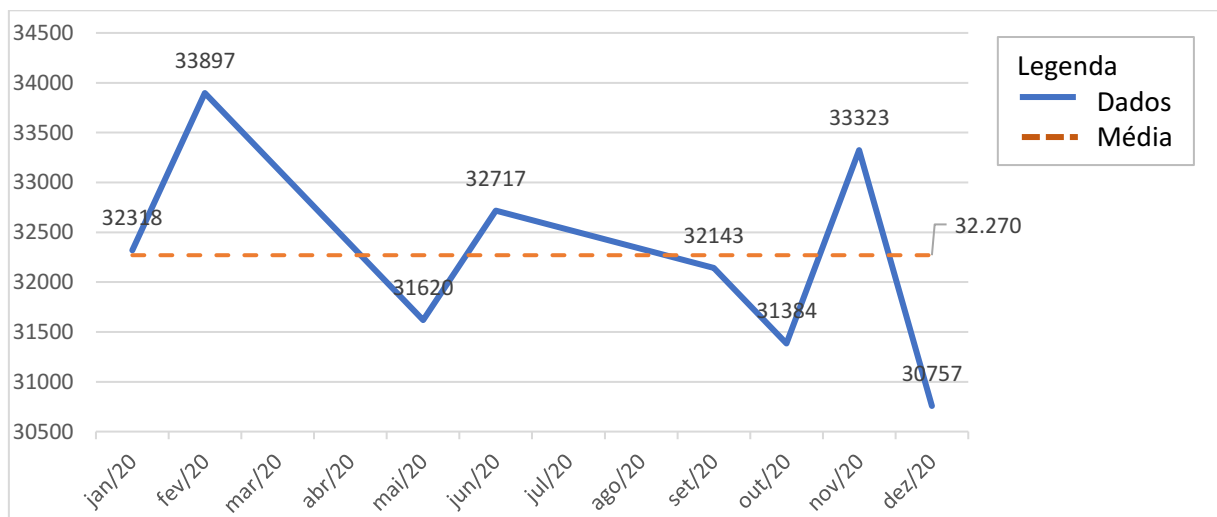
O Apêndice B apresenta o Plano de Coleta de Dados com as informações obtidas após a visita ao local.

Alguns pontos importantes que pode-se extrair após a aplicação deste formulário:

- A Taxa Mínima de Atratividade é 6% a.a, ou seja, esse é o valor mínimo que os investidores esperam receber após aplicação do investimento. No final deste projeto, é comparada este valor de TMA com a TIR (Taxa Interna de Retorno) obtida para realizar as análises de viabilidade do projeto;
- O *payback* desejável é 4 anos, ou seja, esse é o tempo adequado na visão dos investidores de recuperação do capital investido;
- As dimensões do local disponíveis para a aplicação das placas solares são 1700 m<sup>2</sup>, telhados planos e sem presença de sombreamento. Indicando características adequadas para a instalação dos sistemas;
- A *baseline* disponível referente ao consumo de energia elétrica (kWh) do estabelecimento foi 1 ano (janeiro 2020 até dezembro 2020). Estes são os valores passados para empresas responsáveis para construção dos orçamentos.

A Figura 8 apresenta o comportamento do consumo de energia elétrica (kWh) do estabelecimento ao longo do último ano.

Figura 8 - Consumo de Energia Elétrica (kWh)



FONTE: Autoria Própria, 2021

Pode-se perceber um comportamento estável referente ao consumo de energia pelo estabelecimento. A variação existente é natural e dependente de algumas épocas do ano. A

média do consumo de eletricidade com base nos dados coletados é de aproximadamente 32.270 kWh/mês, onde observa-se pelo gráfico que no último ano o mês de maio consumo foi em fevereiro e de menor consumo foi em dezembro.

## 4.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para realizar a análise de viabilidade econômica entrou-se em contato com 3 empresas especializadas na implantação de painéis fotovoltaicos. Foram encaminhadas informações sobre o dimensionamento e o consumo de energia elétrica (kWh) do local. O intuito do contato foi obter orçamentos e informações sobre o projeto para então realizar a análise de viabilidade econômica. Os resultados obtidos das empresas referente à capacidade de geração de energia com as placas solares, o investimento inicial e o percentual da demanda energética do estabelecimento atendida após implementação do projeto são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Informações das propostas do projeto

	<b>Empresa A</b>	<b>Empresa B</b>	<b>Empresa C</b>
<b>Geração Média (kWh/mês)</b>	21759,00	20048,00	20903,50
<b>Investimento à vista (R\$)</b>	-R\$ 643.436,00	-R\$ 609.900,00	-R\$ 621.300,00
<b>Demanda Média Atendida</b>	67,43%	62,13%	64,78%

FONTE: Autoria Própria, 2021.

Os dados apresentados na Tabela 6 exibem a capacidade de geração de KWh por mês na respectiva empresa, além do valor em reais para o investimento, e por último qual a capacidade em porcentagem do quanto cada projeto atende à demanda total de energia elétrica do estabelecimento.

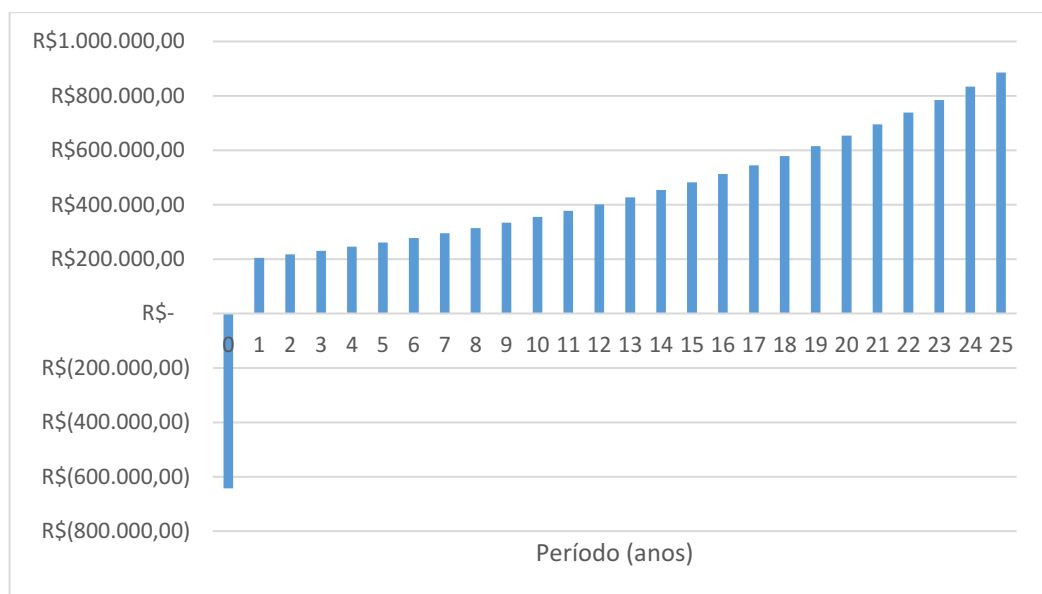
### 4.2.1 Fluxo de Caixa

Para realizar o fluxo de caixa referente às propostas foi utilizado o método de Fluxo de Caixa (FC) Descontado, onde foi realizado os seguintes passos:

1. Considerado o investimento inicial à vista no período zero;

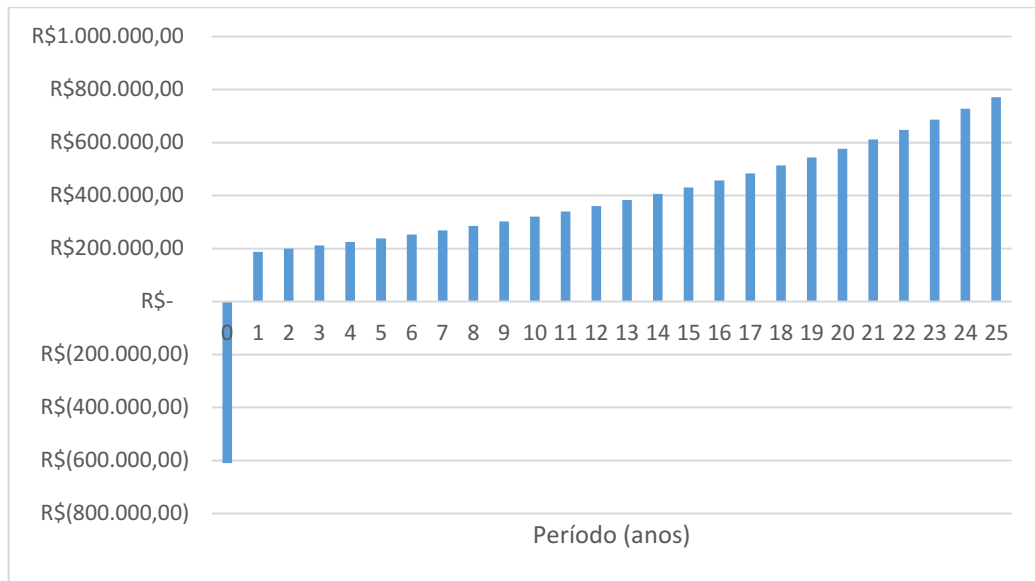
2. Encontrado o custo com eletricidade anual do estabelecimento. Para encontrar este valor ao longo dos 25 anos analisados, foi considerada uma inflação de 7% a.a. referente ao custo com energia elétrica adquirida da rede.
3. Encontrado o custo com energia da rede. Para obter este valor foi calculado o custo específico de energia elétrica (R\$/kWh) e multiplicado pela energia adquirida da rede, onde encontrou-se o valor de R\$0,78. Vale ressaltar que mesmo com os painéis fotovoltaicos é necessário comprar uma parcela de energia da concessionária para complementar a demanda energética do estabelecimento. Para encontrar o valor a ser adquirido da concessionária ao longo dos 25 anos analisado foi considerado uma demanda energética fixa do estabelecimento de 378.240 KW/h por anos descontando com a quantidade de energia gerada pelas placas solares. A capacidade de geração energética dos equipamentos tem uma tendência decrescente ao longo dos anos considerando a taxa de depreciação fornecido pelo fabricante, e, que para o equipamento da empresa A é de 0,6% a.a., e para os equipamentos da empresa B e C é de 0,8% a.a. A representação gráfica dos fluxos de caixa é exibida abaixo pelas Figuras 9, 10 e 11 respectivamente.

Figura 9 – Fluxo de Caixa Empresa A



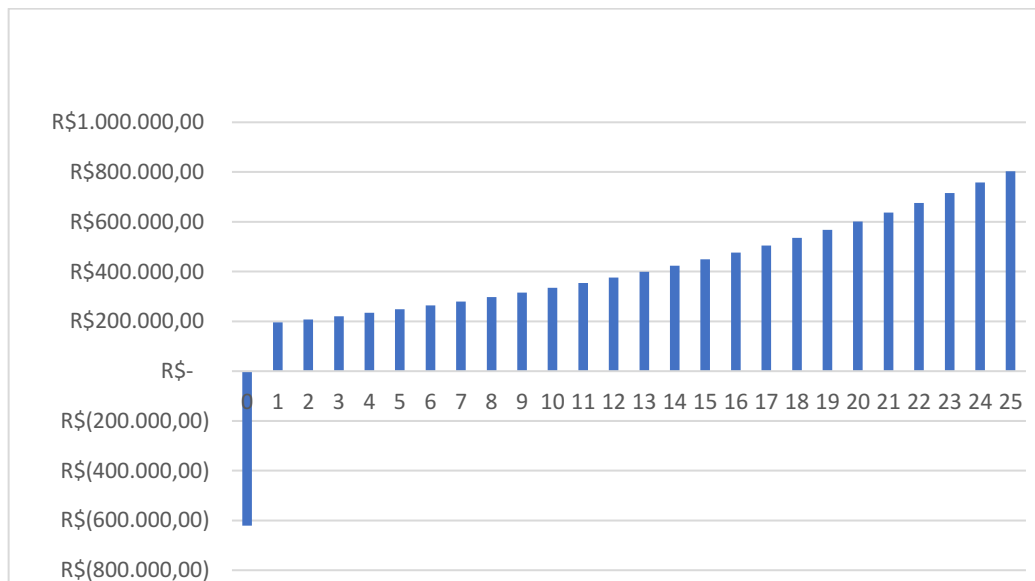
FONTE: Autoria Própria, 2021.

Figura 10 – Fluxo de Caixa Empresa B



FONTE: Autoria Própria, 2021.

Figura 11 – Fluxo de Caixa Empresa C



FONTE: Autoria Própria, 2021.

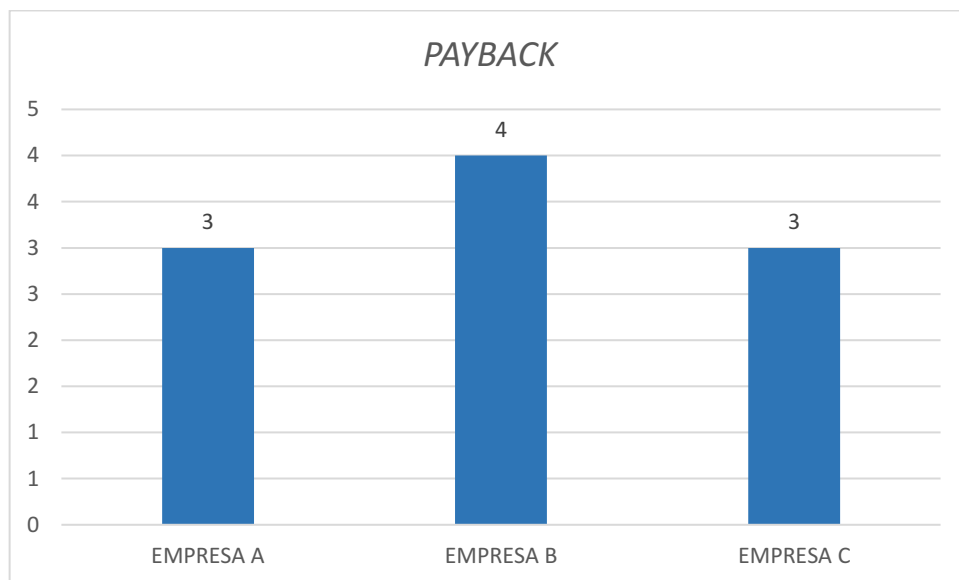
Através dos resultados obtidos observa-se que os 3 três fluxos de caixa realizados com base nos orçamentos fornecidos pelas empresas apresentaram um comportamento similar, ambos com tendência de crescimento. O fluxo de caixa com melhor performance ao longo dos 25 anos analisados foi o projeto oferecido pela empresa A, seguido pelo projeto da empresa C. Para o projeto, foi desconsiderado o custo com manutenção, já que os fabricantes de ambos os

projetos oferecem longa garantia com os equipamentos, e a manutenção preventiva é apenas a limpeza do sistema, não apresentando um valor significativo para ser incluso nesta análise.

#### 4.2.2 Payback

Para o cálculo de *Payback* acumulado referente aos fluxos de caixa apresentados foi realizado o somatório dos anos a partir do período 0 (zero), e observado a partir de qual momento o resultado torna-se positivo. Os resultados obtidos para o *payback* de cada empresa são demonstrados na Figura 12, onde mostra o tempo de *payback* em anos para cada projeto orçado.

Figura 12 – Resultado do *payback* para cada projeto em anos.

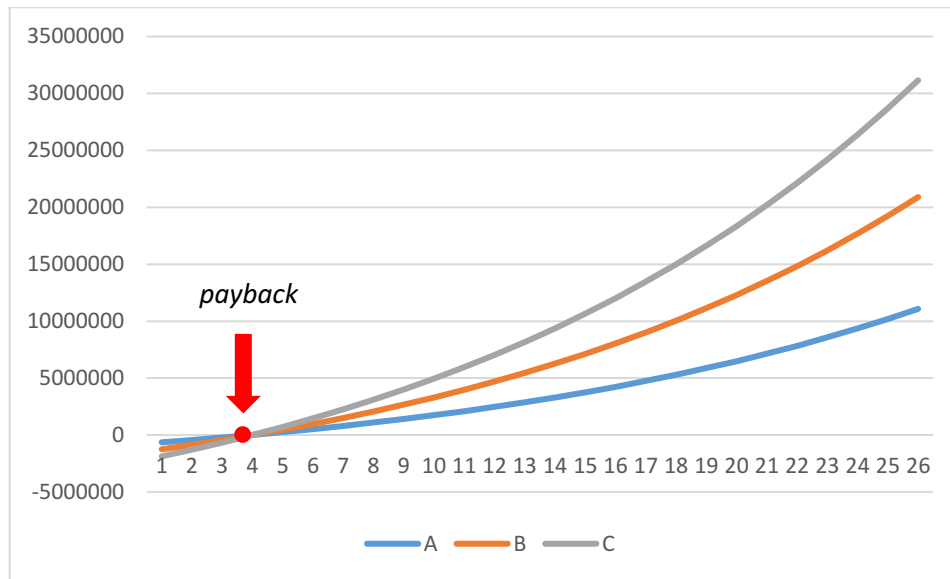


Fonte: Autoria Própria, 2021.

De acordo com os resultados percebe-se que os orçamentos da empresa A e C apresentam um *payback* menor em relação ao *payback* da empresa B, ou seja, o investimento se paga mais rápido nos projetos levantados pelas empresas A e C.

O *payback* do projeto apresenta um comportamento de crescimento exponencial para ambos os projetos, o qual pode-se observar na Figura 13.

Figura 13 – Comparação do Payback entre os Projetos



FONTE: Autoria Própria, 2021.

Graficamente é possível notar que o intervalo entre o investimento inicial e o *payback* para os três projetos é pequeno com base nos 25 anos analisados, ambos retornam o valor investido entre o terceiro e quarto ano. Este é um bom resultado para os investidores, pois demonstra que dentro de apenas três à quatro anos irá obter todo capital investido novamente após a implantação do sistema.

#### 4.2.3 Valor Presente Líquido

Para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) foi realizado a análise das alternativas de ação existentes, considerando-se para efeito de comparação um valor único colocado em uma data arbitrária, como o Valor Presente (P) equivalente a cada um dos fluxos de caixa representativos de cada uma das opções. Os resultados obtidos são exibidos na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados *VPL* para cada projeto

-	<b>Empresa A</b>	<b>Empresa B</b>	<b>Empresa C</b>
<b>VPL</b>	R\$ 4.425.429,13	R\$ 3.971.988,35	R\$ 4.141.483,35

FONTE: Autoria Própria, 2021.

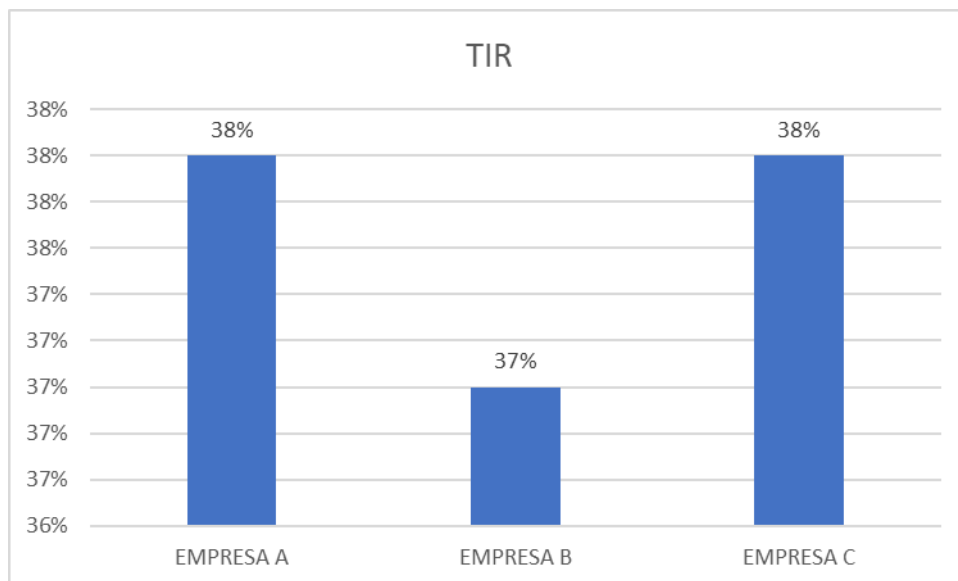


De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que as 3 análises realizadas apresentam o VPL positivo, demonstrando que o projeto é economicamente viável de acordo com o levantamento realizado pelas 3 empresas e os cálculos de viabilidade econômica desenvolvidos. Dentre estes, o melhor resultado de VPL foi da empresa A, a qual apresenta o maior Valor Presente Líquido, ou seja, é o projeto que apresenta maior retorno financeiro.

#### 4.2.4 Taxa Interna De Retorno

O método da Taxa Interna de Retorno (TIR) nos permite encontrar a remuneração do investimento em termos percentuais. Os resultados obtidos referente ao trabalho desenvolvido são exibidos na Figura 14.

Figura 14 – Resultados *TIR* para cada projeto



FONTE: Autoria Própria, 2021.

Para análises referentes aos cálculos obtidos da TIR foi utilizada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 6% a.a., este foi o valor passado pelos investidores e responsáveis pelo estabelecimento após visita em campo. Os resultados obtidos para os 3 projetos foram acima da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) estabelecida, ou seja, este é um resultado que justificaria a aceitação do projeto por parte dos investidores.

#### 4.2.5 Análise de Cenários

A análise de cenários neste estudo exhibe o comportamento do fluxo de caixa de acordo com a variação de determinados parâmetros. A criação dos cenários se deu por três casos: um mais provável, um pessimista e outro otimista. Os valores de referência para a análise foram utilizados dados obtidos através da média entre os três orçamentos disponíveis neste estudo, os quais estão exibidos na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de Referência para Análise de Cenários

<b>Valores de Referência para Análise de Cenários</b>	
Custo Energia (R\$/kWh)	0,28
Consumo Médio Anual (kWh/ano)	387240
Red. Cap Geração Energia (%)	0,73%
Cap. Geração de Energia PV's (kWh/mês)	20475,75
Investimento Inicial (R\$)	624878,67
Custo Energia Total Energia (R\$/ano)	302699,16
Aumento Custo Energia Anual (% a.a.)	7%

FONTE: Autoria Própria, 2021.

Os dados utilizados como referência para esta seção, foram obtidos através da média mensal baseada no ano de 2020, como o custo da energia, consumo médio anual e o aumento da energia anual. Já para a capacidade de geração de energia, investimento inicial, e o custo total da energia, foram baseados na média entre os três orçamentos.

Com base nos valores obtidos através da média entre os três orçamentos, a variável definida foi a inflação da energia elétrica, isso porque dentre os custos do projeto a energia elétrica é um dos custos mais relevantes e que permanece durante toda a vida útil do equipamento. Considerou-se o valor mais provável a inflação baseada em 7% a.a., para o cenário positivo uma redução de 20% sobre o valor mais provável, ou seja, uma inflação de 5,6% a.a., e para o cenário pessimista um aumento de 20% sobre o cenário mais provável, atribuindo o valor de 8,4% a.a.. O fluxo de caixa obtido através de cada cenário é exibido na Tabela 9.

Tabela 9 – Análise de Cenários

<b>Resumo dos cenários</b>	Cenário Provável	Cenário Pessimista	Cenário Otimista
<b>%Inflação E.E a.a.</b>	7%	8,40%	5,60%
<b>FC Acumulado</b>	R\$10.464.858,75	R\$12.908.733,68	R\$8.511.505,44
<b>Payback (anos)</b>	4	4	4

FONTE: Autoria Própria, 2021.

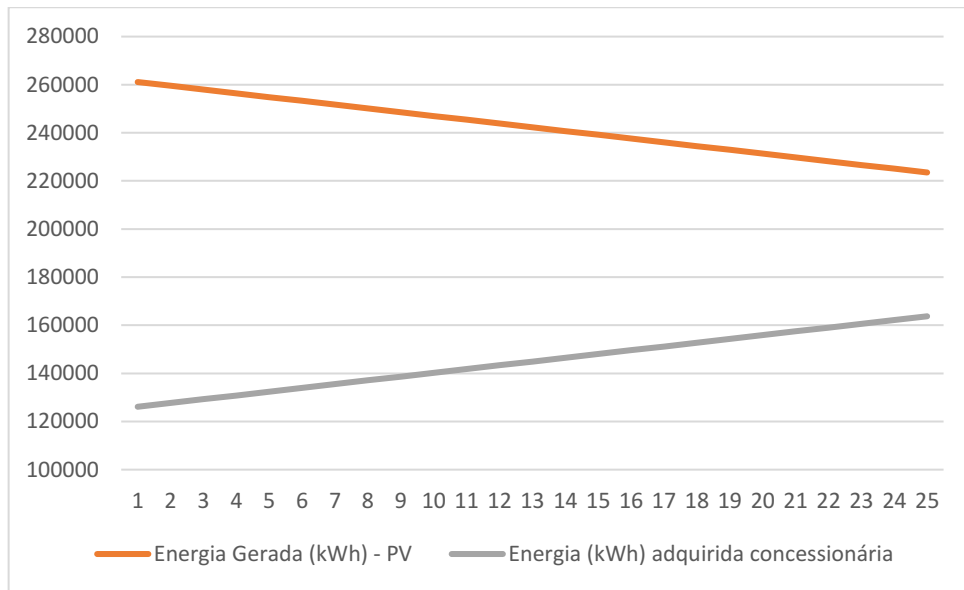
De acordo com os cenários, o maior fluxo de caixa se dá no cenário pessimista, o resultado mais provável apresentou um resultado intermediário, e o pior resultado do fluxo de caixa foi no cenário otimista. Portanto, quanto mais encarece a energia elétrica, maior é o fluxo de caixa do projeto. Além disso, nota-se que em ambos os cenários, o fluxo de caixa permanece positivo, e o fluxo de caixa não houve alteração em anos.

#### 4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE AMBIENTAL

Para construir o cálculo de emissão de  $tCO_2eq./MWh$  e realizar a comparação entre os sistemas, foram desenvolvidos os cálculos abaixo:

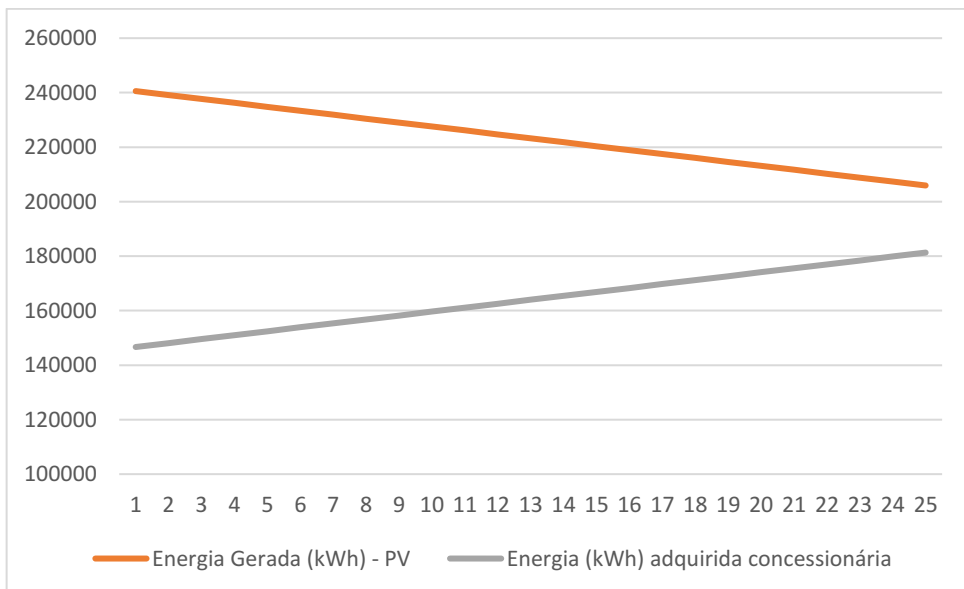
1. Encontrada a potência de geração (kWh) com as placas PV e o consumo de energia (kWh) que se deve obter a partir da concessionária visando atender a demanda energética do estabelecimento. Percebe-se que o potencial de energia (kWh) gerada para o sistema PV apresenta uma redução ao longo dos anos, isto foi considerado com base no coeficiente anual de degradação da potência fornecida a partir dos orçamentos obtidos. Foram considerados os coeficientes 0,6 % a.a, 0,8 % a.a e 0,8% a.a para os orçamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Os resultados ao longo dos 25 anos são encontrados são apresentados na Figura 15, Figura 16 e Figura 17, respectivamente para cada orçamento obtido.

Figura 15 – Geração e consumo de energia (kWh) no cenário de implantação do projeto para Orçamento 1



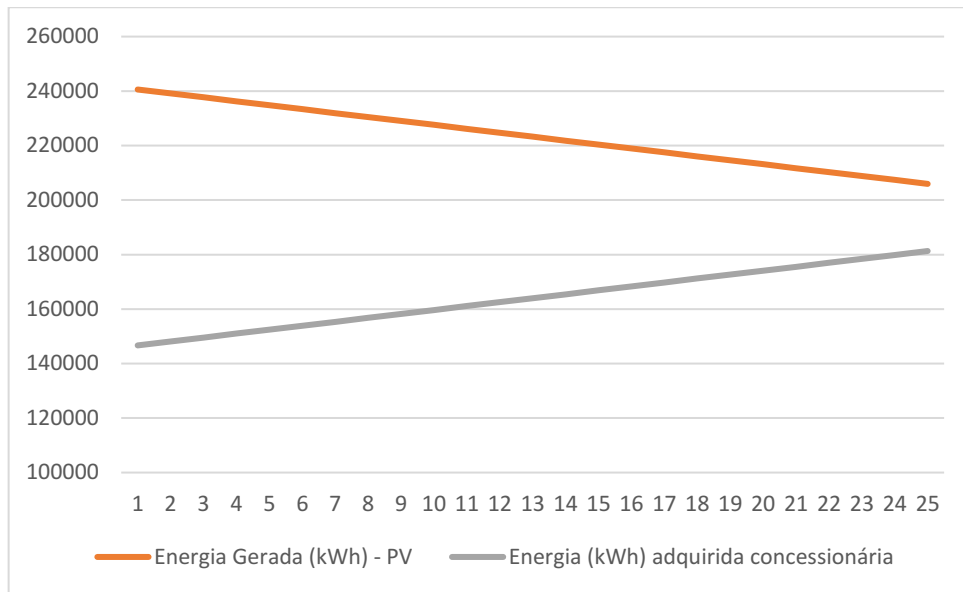
FONTE: Autoria Própria, 2021.

Figura 16 – Geração e consumo de energia (kWh) no cenário de implantação do projeto para Orçamento 2



FONTE: Autoria Própria, 2021.

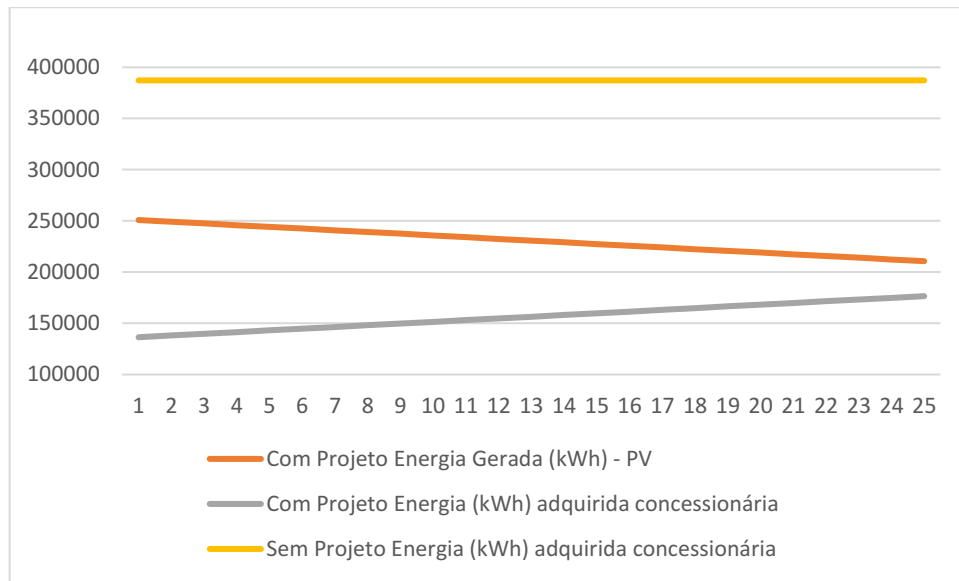
Figura 17 – Geração e consumo de energia (kWh) no cenário de implantação do projeto para Orçamento 3



FONTE: Autoria Própria, 2021.

2. Encontrada uma média anual do consumo energético do estabelecimento considerando o cenário de não implementação do projeto. Neste passo foi considerado o valor de 387.240 kWh/ano com base nos valores obtidos após aplicado o Plano de Coleta.
  
3. Projetado os valores encontrados no passo 1 e 2 para os próximos 25 anos. No caso da implementação do projeto, para encontrar a energia gerada pelas placas solares e energia excedente adquirida da concessionária foi considerada a média dos três orçamentos para cada ano. No caso de não implantação do projeto foi considerado um valor fixo de demanda energética do estabelecimento. Os resultados obtidos ao longo dos 25 anos são apresentados na Figura 18.

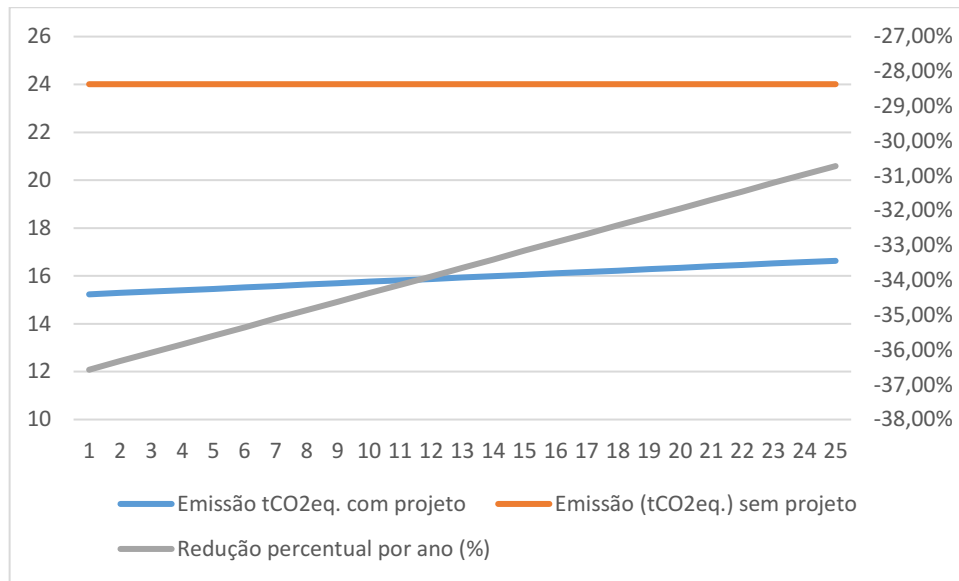
Figura 18 - Energia gerada (kWh) considerando cenários com e sem implantação do projeto



FONTE: Autoria Própria, 2021.

4. Encontrado a emissão de  $tCO_2eq$ , considerando a demanda energética dos dois cenários e os fatores de emissão descritos acima na sessão de Procedimento da Pesquisa – Etapa 4. Para o cenário de implementação do projeto foi considerada a emissão de  $tCO_2eq$  específica para o sistema com placas fotovoltaicas ( $0,027 tCO_2eq./MWh$ ) mais a parcela de emissão referente energia adquirida da concessionária ( $0,062 tCO_2eq./MWh$ ). Para o cenário de não implementação do projeto foi considerada apenas a emissão de  $tCO_2eq$  com base na energia adquirida da concessionária ( $0,062 tCO_2eq./MWh$ ). O cálculo foi projetado para os próximos 25 anos e é projetado na Figura 17.

Figura 19 - Emissões tCO<sub>2</sub>eq. em cada ano considerando o cenário com e sem implantação do projeto



FONTE: Autoria Própria, 2021.

5. Realizado o somatório dos dois cenários nos próximos 25 anos, calculada a diferença entre as emissões e encontrada uma estimativa de redução de GEE emitidos no meio ambiente por ano. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 10 e 11.

Tabela 10 - Total de Emissões Analisando os Cenários

-	Com Painel Fotovoltaico	Sem Painel Fotovoltaico	Redução Percentual (%)
Total de Emissões (tCO <sub>2</sub> eq.) em 25 anos	398,29	600,22	-35,14%

FONTE: Autoria Própria, 2021.

Tabela 11 - Redução de Emissões com Aceitação do Projeto

Redução de Emissões (tCO <sub>2</sub> eq./ Ano)	8,08
---	------

FONTE: Autoria Própria, 2021.

Com base nos cálculos apresentados acima percebe-se o impacto positivo que a implementação do projeto traz também do ponto de vista ambiental. Considerando os próximos 25 anos, período que abrange grande parte da vida útil dos equipamentos, a taxa anual de redução de  $tCO_2eq$  emitidos à atmosfera após a implementação das placas fotovoltaicas no estabelecimento será de 8,08  $tCO_2eq/Ano$ . Este é um resultado significativo, está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS's) e torna este projeto viável ambientalmente.

#### 4.4 ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS E CONTRIBUIÇÕES PARA OS ODS'S

Como previsto nas sessões iniciais deste trabalho, a implantação deste projeto estará relacionada principalmente com três ODS's: Energia Acessível e Limpa (7); Cidades e Comunidades Sustentáveis (11) e Combate as Alterações Climáticas (13). Abaixo segue uma análise referente ao motivo e os benefícios que este projeto traz para esses ODS's.

O presente trabalho esteve alinhado com as perspectivas referente Energia Acessível e Limpa, pois um dos subobjetivos deste ODS é “Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global”, além de “[...] promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa” (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2021). O que comprova isto é o fato deste trabalho ter realizado um estudo de viabilidade econômica e ambiental para a implantação de uma fonte de geração limpa dentro de um estabelecimento prestador de serviços.

Com relação ao objetivo de Cidades e Comunidades Sustentáveis, foram realizadas algumas abordagens, como a divulgação do objetivo e propósito do trabalho para os colaboradores do estabelecimento e a mensuração do impacto ambiental com a implantação do projeto, que estão alinhadas com algumas perspectivas desta ODS, como a questão de “fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo” e “até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar [...]” (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2021).

Para o ODS de Combate as Alterações Climáticas, este trabalho contribuiu com aplicação de um estudo prático sobre a implantação de um sistema de geração utilizando de recursos renováveis. Além disso na etapa de revisão da literatura foram levantados questionamentos pertinentes, como a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias que não degradem o meio ambientes e busquem fontes alternativas de geração. Foram também



apresentados os pontos positivos do sistema fotovoltaico, bem como um trabalho de conscientização com os colaboradores. Com base em um dos objetivos deste ODS que é “Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima” (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2021), percebe-se que o trabalho desenvolvido colaborou com esta ODS também.

## 5 CONCLUSÃO

Dentre os resultados obtidos com a análise de viabilidade ambiental, a Taxa Interna de Retorno (TIR) apresentou-se superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) em ambos os projetos, o que torna atrativo o investimento. Para o valor presente líquido, os resultados foram positivos, o *payback* do projeto foi em apenas 3 anos para o projeto A e C, e um ano a mais para o projeto B, sendo estes bons resultados, pois o tempo total analisado foi de 25 anos. Desta forma é perceptível que o retorno sobre o capital investido é em um curto período de tempo. Considerando três possíveis cenários em relação ao custo da energia elétrica, o fluxo de caixa cresce de acordo com o aumento da energia elétrica, isso acontece porque ao possuir um custo maior com compra de energia elétrica da rede comum, o investidor deixaria de pagar à mais para uma companhia de abastecimento de energia, por exemplo. Portanto, ao considerar a escolha através do ponto de vista econômico financeiro, o projeto indicado é o oferecido pela empresa A.

Com relação a análise viabilidade ambiental, percebe-se com base nos cálculos desenvolvidos os impactos positivos que a implantação do projeto fornece. Uma redução de 8.08 tCO<sub>2</sub>eq./Ano, totalizando 35.14% de tCO<sub>2</sub>eq. ao final de 25 anos com a implantação de painéis fotovoltaicos. De fato, uma redução representativa e que está alinhada com as expectativas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS's).

As principais dificuldades encontradas neste estudo foram o baixo retorno de orçamentos por parte das empresas, dificuldades em realizar reuniões e coletar dados no estabelecimento em estudo, devido ao pouco tempo disponível do gerente e por estar localizado em uma área afastada do centro urbano da cidade. Além disso, poucos estudos aplicados dentro do Brasil com o mesmo objetivo ambiental, necessitando buscar referências em trabalhos aplicados em outros países, dificuldade para encontrar informações com os fornecedores referente ao ciclo de vida das placas solares, uma informação importante para compor o fator de emissão dos equipamentos e que foi obtida somente após contato com estudos realizados, estabelecer um critério econômico para taxas e juros em meio a volatilidade econômica atual no país.

Sugere-se para trabalhos futuros realizar uma análise juntamente com os fornecedores sobre todo o ciclo de vida dos equipamentos, assegurando maior confiabilidade ao determinar o fator de emissão dos mesmos. Outra sugestão é realizar uma mensuração dos benefícios obtidos após implementação de um sistema de energia renovável e comparar os ganhos frente a uma determinada meta específica do ODS e construir uma estimativa caso outros trabalhos

fossem aplicados diante do mesmo tema e obtendo resultados semelhantes, quão rápido os objetivos do ODS seriam atingidos.

O projeto apresentou-se economicamente e ambientalmente viável, e um dos principais pontos positivos foi reduzir a necessidade de energia provida de rede pública, o qual apresentou-se muito volátil e altamente dependente de condições climáticas e políticas no país. Utilizando energia com geração própria é uma ótima possibilidade de abster-se ou diminuir os riscos de um aumento de custos proveniente de inflações provenientes de instabilidades na matriz energética. Portanto, além de o usuário de um sistema fotovoltaico possuir um menor impacto frente à inflação e custo com energia mais caros, também tem seu risco de falta de energia minimizado, podendo ainda operar mesmo que em apagões, não comprometendo 100% da sua operação.

Outro ponto positivo é com relação aos benefícios que um projeto como este proporcionam para o meio ambiente frente ao cenário global de escassez dos recursos naturais e aumento das emissões dos gases do efeito estufa. Além disso, contribuir com o desenvolvimento e aplicação de sistemas alternativos de geração de energia, como a energia solar, é uma boa prática diante das metas estabelecidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS's).

## REFERÊNCIAS

ALVES, A.; MATTOS, J.; AZEVEDO, I. **Engenharia Econômica**. Porto Alegre: SAGAH, 2017.

ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA). **Geração Distribuída: Micro e Minigeração distribuídos**. 2018. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 30 jul. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Capacidade de Geração do Brasil**. 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 30 jul. 2020.

ABSOLAR (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA SOLAR). **Energia Solar Distribuída Registra crescimento superior a 212% em 2019**. 2020. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-distribuida-registra-crescimento-superior-a-212-em-2019>. Acesso em: 31 out. 2020.

ABSOLAR (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA SOLAR). **Energia Solar em estabelecimentos comerciais dobra no 1º semestre de 2020**. 2020. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-em-estabelecimentos-comerciais-dobra-no-1o-semester-de-2020.html>. Acesso em: 08 nov. 2020.

BAKIĆ, V. et al. **Dynamical simulation of PV/Wind hybrid energy conversion system**. *Energy*, v. 45, n. 1, p. 324–328, 2012.

BELTRÁN-TELLES, A. et al. **Prospective of wind and solar photovoltaic energy for electricity production**. *CienciaUAT*, v. 11, n. 2, p. 105, 2017.

BORDEAUX-REGO, R. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. Editora FGV, 2015.

BURTT, D.; DARGUSCH, P. **The cost-effectiveness of household photovoltaic systems in reducing greenhouse gas emissions in Australia: Linking subsidies with emission reductions**. *Applied Energy*, v. 148, p. 439–448, 2015.

CARVALHO, M. et al. **Carbon footprint associated with a mono-Si cell photovoltaic ceramic roof tile system.** *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v. 38, n. 4, jul. 2019.

CARVALHO, M.; DELGADO, D. **Potential of photovoltaic solar energy to reduce the carbon footprint of the Brazilian electricity matrix.** *LALCA-Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, v. 1, n. 1, p. 64-85, 2017.

CHAIANONG, A.; PHARINO, C. **Outlook and challenges for promoting solar photovoltaic rooftops in Thailand.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 48, p. 356–372, 2015.

CHANGE, IPCC Climate et al. **Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.** Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2014.

CHOUDHARY, P.; SRIVASTAVA, R. **Sustainability perspectives- a review for solar photovoltaic trends and growth opportunities.** *Journal of Cleaner Production*, v. 227, p. 589–612, 2019.

CÓRDULA, F.; DE ARAÚJO, W. **Discussões acerca da aceitação de software livre para criação e gestão de bases de dados referenciais de artigos científicos.** *Biblios*, n. 61, p. 38-53, 2015.

CUSTODIO, T. **90 GW de solar centralizada até 2050.** 2020. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/90-gw-de-solar-centralizada-ate-2050.html>. Acesso em: 30 jul. 2020.

DOS SANTOS CARSTENS, D.; DA CUNHA, S. **Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil.** *Energy Policy*, v. 125, p. 396–404, 2019.

DE ARAÚJO, V.; MALINOVSKI, R.; VASCONCELOS, J. **Análise de viabilidade econômica de um processo de secagem de madeira para empresas madeireiras do Sudoeste Paulista.** *Revista Ciência em Extensão*, v. 7, n. 2, p. 51-70, 2011.

DI LEO, S. et al. **Contribution of the Basilicata region to decarbonisation of the energy system: results of a scenario analysis.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 138, 2021.

FIALHO, J.; PINTO, A.; GOMES, A. **Avaliação Económica de um Sistema de Produção Fotovoltaico para Autoconsumo**. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 6, n. 3, p. 83-98, 2018.

FONSECA, J. Metodologia da pesquisa científica. 2002. **Curso de Especialização em Comunidades Virtuais de Aprendizagem-Informática Educativa**. Universidade Estadual do Ceara, 2002.

GERBINET, S.; BELBOOM, S.; LÉONARD, A. **Life Cycle Analysis (LCA) of photovoltaic panels: A review**. Elsevier, 2014.

GERHARDT, T.; SILVEIRA, D. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GIL, A. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GONÇALVES, A. et al. **Engenharia econômica e finanças**. Elsevier Brasil, 2009.

GORJIAN, S. et al. **Solar photovoltaic power generation in Iran: development, policies, and barriers**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 106, p. 110-123, 2019.

HAMEL, G.; PRAHALAD, C. **Competindo pelo futuro**. Rio de Janeiro: Campus, v. 301, 1995.

HOSSAIN, M. et al. **A state-of-the-art review of hydropower in Malaysia as renewable energy: Current status and future prospects**. *Energy Strategy Reviews*, v. 22, p. 426–437, 2018.

HOSSEINI, S. E. **Development of solar energy towards solar city Utopia**. *Energy Sources Part A-Recovery Utilization And Environmental Effects*, v. 41, n. 23, p. 2868–2881, 2019.

IDEIA SUSTENTÁVEL. **Os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável. Entenda o que é a Agenda 2030 e quais são os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) instituídos pela ONU**. 2019. Disponível em: <https://ideiasustentavel.com.br/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 26 set. 2020.

INEEL, Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (2009). **La generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles**. [En línea]. Disponível em: <http://www.ineel.mx/boletin042009/divulga.pdf>. Acesso em: 23 de abril de 2020.

JAHANFAR, A.; SLEEP, B.; DRAKE, J. **Energy and carbon-emission analysis of integrated green-roof photovoltaic systems: Probabilistic approach**. Journal of Infrastructure Systems, v. 24, n. 1, 2018.

KISHITA, Y.; UMEDA, Y.. **Development of Japan's photovoltaic deployment scenarios in 2030**. International Journal of Automation Technology, v. 11, n. 4, p. 583-591, 2017.

KORSAVI, S.; ZOMORODIAN, Z.; TAHSILDOOST, M. **Energy and economic performance of rooftop PV panels in the hot and dry climate of Iran**. Journal of Cleaner Production, v. 174, p. 1204-1214, 2018.

LATIEF, Y. et al. **Cost optimum design of a tropical near zero energy house (nZEH)**. International Journal Of Technology, v. 10, n. 2, p. 376–385, abr. 2019.

LEE, M. **Economic feasibility analysis and policy implication for photovoltaic system at cohousing in KOREA**. Renewable Energy, v. 144, p. 30–40, 2019.

LIMA, D.; CÉSPEDES, G. **Stochastic analysis of economic viability of photovoltaic panels installation for big consumers in Brazil**. Electric Power Systems Research, v. 173, p. 164–172, 2019.

MARIMUTHU, C.; KIRUBAKARAN, V. **Carbon pay back period for solar and wind energy project installed in India: A critical review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 23, p. 80–90, 2013.

MEKHILEF, S.; SAIDUR, R.; SAFARI, A. **A review on solar energy use in industries**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 4, p. 1777–1790, 2011.

MINAYO, M; DESLANDES, S; GOMES, R. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. In: Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 2016. p. 95 p-95 p.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **A importância do setor terciário para a economia**. 2019. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-servicos/a->

secretaria-de-comercio-e-servicos-scs/406-programas-e-acoas. Acesso em: 22 nov. 2020.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Fator médio - Inventários corporativos**. 2020. Disponível em: [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao\\_corporativos.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html).

MONZONI, M. **Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa**. Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces), 2008.

MORAIS, P. et al. **Energy, exergetic and economic analyses of a combined solar-biomass-ORC cooling cogeneration systems for a Brazilian small plant**. *Renewable Energy*, v. 157, p. 1131–1147, 2020.

MOTTA, R. et al. **Engenharia econômica e finanças**. Elsevier Brasil, 2009.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU: Os ODS devem ser implementados por todos os países do mundo durante os próximos 15 anos, até 2030**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>. Acesso em: 06 ago. 2020.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) 2021**. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/ods>. Acesso em: 04 set. 2021.

NETO, A.; LIMA, F. **Curso de administração financeira**. Atlas, 2009.

NIAN, V. **Impacts of changing design considerations on the life cycle carbon emissions of solar photovoltaic systems**. *Applied Energy*, v. 183, p. 1471–1487, 2016.

PEREIRA, E. et al. **Atlas brasileiro de energia solar (2a edição)**. São José dos Campos: Inpe, 2017.



PEREIRA J.; AMARO, O. **Matriz energética do estado do Rio de Janeiro: 2017-2031**. Rio de Janeiro, 2018.

PINTO, M. et al. **Sensitivity analysis of the carbon payback time for a Brazilian photovoltaic power plant**. *Utilities Policy*, v. 63, 2020.

PU, L. et al. **Feasible electricity price calculation and environmental benefits analysis of the regional nighttime wind power utilization in electric heating in Beijing**. *Journal of Cleaner Production*, v. 212, p. 1434–1445, 2019.

PUCCINI, A. **Matemática financeira e análise de investimentos**. Ed. Beta, 1977.

REN, F. et al. **Analysis of CO2 emission reduction contribution and efficiency of China's solar photovoltaic industry: Based on Input-output perspective**. *Energy*, v. 199, p. 117493, 2020.

SAMPAIO, P.; GONZÁLEZ, M. **Photovoltaic solar energy: Conceptual framework**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, p. 590–601, 2017.

SILVEIRA, J.; TUNA, C.; LAMAS, W. **The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 20, p. 133–141, 2013.

SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa). **Emissões por setor: Energia**. 2021. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SIMSEK, Y. et al. **An analysis of additional energy requirement to meet the sustainable development goals**. *Journal of Cleaner Production*, v. 272, p. 122646, 2020.

SOLSTÍCIO ENERGIA. **Como funcionam as células fotovoltaicas?** 2017. Disponível em: <https://www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica>. Acesso em: 31 out. 2020.

SUÁREZ-GARCÍA, A. et al. **Estimation of photovoltaic potential for electricity self-sufficiency: A study case of military facilities in northwest Spain.** Journal of Renewable and Sustainable Energy, v. 9, n. 5, 2017.

TÔRRES, O. **Fundamentos da engenharia econômica e da análise econômica de projetos.** Thomson Learning, 2006.

TORRES, R. et al. **MATEMÁTICA FINANCEIRA E ENGENHARIA ECONÔMICA: a teoria e a prática.** 2004.

TIMILSINA, G.; KURDGELASHVILI, L.; NARBEL, P. **Solar energy: Markets, economics and policies.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, n. 1, p. 449–465, 2012.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.** General Assembly 70 session, 2015.


VARUN; PRAKASH, R.; BHAT, I. **Energy, economics and environmental impacts of renewable energy systems.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, n. 9, p. 2716–2721, 2009.

VINCI, G. et al. **Sustainability of technological innovation investments: photovoltaic panels case study.** International Journal of Civil Engineering and Technology, v. 10, n. 2, p. 2301-2307, 2019.

## APÊNDICE A – FORMULÁRIO PARA COLETA DE DADOS

 <b>UTFPR</b> <small>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</small>	Formulário para coleta de dados - Trabalho de Conclusão de Curso (UTFPR/PG)	Local	Ponta Grossa/ PR
		Data	
		Alunos	Éder Luis Andrade Cunha
			Jean Felype Ferreira
		Professor orientador	Fábio Neves Puglieri
		Nome da Empresa	-
		Responsável pela visita	-
Esse formulário visa coletar informações que serão úteis para o desenvolvimento do projeto, possibilitando realizar as análises de viabilidade econômica e ambiental. Serão coletadas informações sobre os investidores, as dimensões e dados do consumo de energia do estabelecimento.			
<b>Análise de Viabilidade Econômica.</b>			
<b>Análise dos indicadores</b>			
Qual a taxa Mínima de atratividade? - Taxa SELIC (abril 2021): <b>2,75%</b> a.a			
Quais são os riscos do projeto?			
Qual a liquidez referente aos ganhos do projeto?			
Em quanto tempo a empresa espera obter retorno sobre o investimento inicial?			
<b>Dados do local</b>			
Quais as dimensões do local para a instalação das placas solares?			
Existe sombreamento que possa atrapalhar o desempenho dos painéis fotovoltaicos?			
Qual a baseline quanto ao consumo de energia do estabelecimento?			
<b>Dados sobre o consumo de energia elétrica (kWh)</b>			
<b>Espaço disponível para informações adicionais</b>			

## APÊNDICE B – PLANO DE COLETA DE DADOS COM REPOSTAS OBTIDAS

 <b>UTFPR</b> <small>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</small>	Formulário para coleta de dados - Trabalho de Conclusão de Curso (UTFPR/PG)	Local	Ponta Grossa/ PR
		Data	22/05/2021
		Alunos	Éder Luis Andrade Cunha
			Jean Felype Ferreira
		Professor orientador	Fábio Neves Puglieri
		Nome da Empresa	X
		Responsável pela visita	X
Esse formulário visa coletar informações que serão úteis para o desenvolvimento do projeto, possibilitando realizar as análises de viabilidade econômica e ambiental. Serão coletadas informações sobre os investidores, as dimensões e dados do consumo de energia do estabelecimento.			
<b>Análise de Viabilidade Econômica.</b>			
<b>Análise dos indicadores</b>			
Qual a taxa Mínima de atratividade? - Taxa SELIC (abril 2021): <b>2,75%</b> a.a			<b>6% a.a</b>
Quais são os riscos do projeto? <b>Riscos climáticos, riscos do tempo de entrega e qualidade do produto.</b>			
Qual a liquidez referente aos ganhos do projeto?			<b>Baixa</b>
Em quanto tempo a empresa espera obter retorno sobre o investimento inicial?			<b>4 anos</b>
<b>Dados do local</b>			
Quais as dimensões do local para a instalação das placas solares?			<b>1700 m<sup>2</sup></b>
Existe sombreamento que possa atrapalhar o desempenho dos painéis fotovoltaicos?			<b>Não</b>
Qual a baseline quanto ao consumo de energia do estabelecimento?			<b>1 ano</b>
<b>Dados sobre o consumo de energia elétrica (kWh)</b>			
jan/20	<b>32318</b>	set/20	<b>32143</b>
fev/20	<b>33897</b>	out/20	<b>31384</b>
mar/20	-	nov/20	<b>33323</b>
abr/20	-	dez/20	<b>30757</b>
mai/20	<b>31620</b>		
jun/20	<b>32717</b>	<b>Média</b>	<b>32270 kWh</b>
jul/20	-		
ago/20	-		
<b>Espaço disponível para informações adicionais</b>			