

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ**  
**GEAN CARLOS CAMARGO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE  
SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO EM EMPRESAS**

**CASCATEL**  
**2023**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ**  
**GEAN CARLOS CAMARGO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE  
SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO EM EMPRESAS**

Estudo de caso concreto apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz para trabalho de conclusão de curso.  
**Professor: Ederson Zanchet**

**CASCADEL**  
**2023**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ**  
**GEAN CARLOS CAMARGO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A**  
**IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO EM EMPRESAS**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade Assis Gurgacz / Dom Bosco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel/Licenciado em Engenharia Elétrica, sob a orientação do Professor Ederson Zanchet Engenheiro Eletricista e Eng. de C&A – Especialista.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Ederson Zanchet  
Faculdade Assis Gurgacz  
Engenheiro Eletricista e Eng. de C&A – Especialista

---

Denise da Costa Canfild  
Faculdade Assis Gurgacz  
Ma. Engenheira Eletricista

---

Helder José Costa Carozzi  
Faculdade Assis Gurgacz  
Me. Engenheiro em Telecomunicações

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer primeiramente a Deus por toda jornada percorrida até aqui e por conceder-me saúde, pois sem a qual não seria possível o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, que desde sempre me apoiou e incentivou, independentemente dos obstáculos que surgiram no caminho, especialmente à minha mãe Marisa ao meu pai Juliano e ao irmão Jederson, obrigado por estarem sempre ao meu lado.

À minha esposa Josiely que mesmo nos momentos mais complicados não me deixou desistir, à minha filha Ana Clara que desde seu nascimento me ensinou o real significado do que é o amor, e pela minha pequena que está por vir, EU AMO MUITO VOCÊS.

A todos os professores e mestres com os quais tive o privilégio de obter parte de seu conhecimento e de conviver quase que diariamente na faculdade, vocês foram muito importantes no meu crescimento e desenvolvimento pessoal e profissional, o meu muito obrigado de coração.

Aos colegas e amigos que fiz pelo caminho, vocês foram muito importantes nessa jornada.

Enfim foram alguns anos de luta e dedicação, de escolhas a serem feitas para que esse momento enfim chegasse, o futuro a Deus pertence, mas o agora só depende de nós.

## **RESUMO**

Com a crescente demanda por energia e o avanço tecnológico relacionado a instalações de sistemas de geração fotovoltaico, muito utilizados em residências, sendo muito viáveis técnica e economicamente falando, surge a questão: será que no cenário industrial essa viabilidade técnica e econômica existe? Ao se tratar de empresas estamos diretamente falando em grandes consumidores de energia, possuindo diretrizes e regras de instalação distintos em relação a sistemas residenciais, para isso efetuou-se análise de 6 casos com demandas de energia, consumo e tipos tarifários distintos. Com os valores econômicos referentes aos sistemas de geração de energia fotovoltaicos, utilizando ferramentas de análise financeira, obteve-se os parâmetros para distinguir a viabilidade econômica para cada caso, analisando pelo dimensionamento pelo consumo e posteriormente pela demanda contratada. Encontrando viabilidade econômica para o dimensionamento pela demanda, que por sua vez, compensaria apenas uma parte do consumo da unidade consumidora.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica, Empresas, viabilidade econômica.

## **ABSTRACT**

With the great demand for energy and the growth of technology related to the installation of photovoltaic generation systems, which are widely used in homes and are technically and economically viable, does this technical and economic viability exist in the industrial scenario? When it comes to companies, we are talking directly about large energy consumers, with different installation guidelines and rules compared to residential systems. To this end, an analysis was carried out of 6 cases with different energy demands, consumption and tariff types. With the economic values for photovoltaic energy generation systems, using financial analysis tools, we obtained the parameters to distinguish the economic viability for each case, analyzing by sizing by consumption and then by contracted demand. Economic viability was found for sizing by demand, which in turn would only compensate for part of the consumer unit's consumption.

**Keywords:** Photovoltaic energy, Companies, Economic viability.

## **LISTA DE GRÁFICOS**

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 3.1 Comparação do VPL para os casos analisados. .... | 50 |
| Gráfico 3.2 Relação do VPL para os casos 1,2,3 e 4.....      | 61 |
| Gráfico 3.3 Relação do VPL para os casos 5 e 6.....          | 62 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1 – Características dos Subgrupos grupo B .....                                                            | 23 |
| Tabela 2.2 – Características dos Subgrupos grupo A.....                                                             | 24 |
| Tabela 2.3 – Tabela de tarifas COPEL .....                                                                          | 26 |
| Tabela 2.4 - Itens considerados nos cálculos de faturas de energia elétrica para as tarifas Azul e Verde.....       | 27 |
| Tabela 3.1 – Dados referentes as seis unidades consumidoras analisadas. ....                                        | 39 |
| Tabela 3.2 – Valores referentes aos custos médios de instalação dos sistemas de geração fotovoltaicos por kWp. .... | 41 |
| Tabela 3.3 – Valores do dimensionamento do sistema pelo consumo. ....                                               | 41 |
| Tabela 3.4 – Valores relacionados ao dimensionamento do sistema pela demanda contratada. ....                       | 42 |
| Tabela 3.5 – Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 1. ....                   | 43 |
| Tabela 3.6 – Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 1. ....    | 44 |
| Tabela 3.7 – Valores calculados para o caso 1 referentes ao dimensionamento pelo consumo. ....                      | 44 |
| Tabela 3.8 – Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 2. ....                   | 44 |
| Tabela 3.9 – Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 2. ....    | 45 |
| Tabela 3.10 – Valores calculados para o caso 2 referentes ao dimensionamento pelo consumo. ....                     | 45 |
| Tabela 3.11 – Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 3. ....                  | 45 |
| Tabela 3.12 – Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 3. ....   | 46 |
| Tabela 3.13 – Valores calculados para o caso 3 referentes ao dimensionamento pelo consumo. ....                     | 46 |
| Tabela 3.14 – Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 4. ....                  | 46 |
| Tabela 3.15 – Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados                       |    |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| para o caso 4. ....                                                                                                  | 47 |
| Tabela 3.16 - Valores calculados para o caso 4 referentes ao dimensionamento pelo consumo. ....                      | 47 |
| Tabela 3.17 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 5. ....                   | 48 |
| Tabela 3.18 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 5. ....    | 48 |
| Tabela 3.19 - Valores calculados para o caso 5 referentes ao dimensionamento pelo consumo. ....                      | 48 |
| Tabela 3.20 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 6. ....                   | 49 |
| Tabela 3.21 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 6. ....    | 49 |
| Tabela 3.22 - Valores calculados para o caso 6 referentes ao dimensionamento pelo consumo. ....                      | 50 |
| Tabela 3.23 – Valores do hectare de terra na cidade de Cascavel por classe de solo. ....                             | 52 |
| Tabela 3.24 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 1. ....                   | 52 |
| Tabela 3.25 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 1. ....    | 52 |
| Tabela 3.26 - Valores calculados para o caso 1 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno. .... | 53 |
| Tabela 3.27 - Valores calculados para o caso 1 referentes ao dimensionamento pela demanda. ....                      | 53 |
| Tabela 3.28 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 2. ....                   | 53 |
| Tabela 3.29 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 2. ....    | 54 |
| Tabela 3.30 - Valores calculados para o caso 2 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno. .... | 54 |
| Tabela 3.31 - Valores calculados para o caso 2 referentes ao dimensionamento pela demanda. ....                      | 54 |
| Tabela 3.33 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 3. ....                   | 55 |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 3.34 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 3. ....    | 55 |
| Tabela 3.35 - Valores calculados para o caso 3 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno. .... | 56 |
| Tabela 3.36 - Valores calculados para o caso 3 referentes ao dimensionamento pela demanda. ....                      | 56 |
| Tabela 3.37 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 4. ....                   | 56 |
| Tabela 3.38 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 4. ....    | 57 |
| Tabela 3.39 - Valores calculados para o caso 4 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno. .... | 57 |
| Tabela 3.40 - Valores calculados para o caso 4 referentes ao dimensionamento pela demanda. ....                      | 57 |
| Tabela 3.41 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 5. ....                   | 58 |
| Tabela 3.42 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 5. ....    | 58 |
| Tabela 3.43 - Valores calculados para o caso 5 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno. .... | 59 |
| Tabela 3.44 - Valores calculados para o caso 5 referentes ao dimensionamento pela demanda. ....                      | 59 |
| Tabela 3.45 – Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 6. ....                   | 59 |
| Tabela 3.46 – Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 6. ....    | 60 |
| Tabela 3.47 – Valores calculados para o caso 6 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno. .... | 60 |
| Tabela 3.48 – Valores calculados para o caso 6 referentes ao dimensionamento pela demanda. ....                      | 61 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 - Sistemas de geração de energia solar fotovoltaica.....                                                           | 15 |
| Figura 2.2 - Células de silício Monocristalino. ....                                                                          | 16 |
| Figura 2.3 – Células de silício Policristalino.....                                                                           | 17 |
| Figura 2.4 Pannel solar de filme fino .....                                                                                   | 17 |
| Figura 2.5 – Componentes da radiação solar.....                                                                               | 18 |
| Figura 2.6 – Representação esquemática do sistema autônomo.....                                                               | 20 |
| Figura 2.7 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de distribuição da concessionária. .... | 21 |
| Figura 2.8 - Índices de irradiação do estado do Paraná. ....                                                                  | 22 |
| Figura 2.9 – Exemplo da variação da demanda ao longo do dia. ....                                                             | 32 |
| Figura 3.1 – Exemplo de uma das faturas de energia utilizadas para análise e estudo de caso                                   | 39 |

## LISTA DE SIGLAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

SFV – Sistema Fotovoltaico

kWh/m<sup>2</sup>dia – Quilowatt-hora por metro quadrado por dia

kW - Quilowatt

kWp – Quilowatt-pico

kVA – Quilovolt-Ampere

TE – Tarifa de Energia

TUSD - Taxa de Utilização do Sistema de Distribuição

PTA - Ponta

FPTA – Fora Ponta

PR – Performance Ratio ou Índice de Performance

UV – Ultravioleta

GHI – Irradiação Global Horizontal

DHI – Irradiação Difusa Horizontal

DNI – Irradiação Normal Direta

VPL – Valor Presente Líquido

TIR – Taxa Interna de Retorno

RN – Norma Regulamentadora

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

## SUMÁRIO

|          |                                                                                |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                        | <b>12</b> |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                                              | <b>14</b> |
| 2.1      | Energia solar fotovoltaica .....                                               | 14        |
| 2.1.1    | Recurso Solar.....                                                             | 14        |
| 2.1.2    | Efeito Fotovoltaico .....                                                      | 15        |
| 2.1.3    | Tipos de Células Fotovoltaicas.....                                            | 16        |
| 2.1.4    | Radiação Solar .....                                                           | 18        |
| 2.2      | Tipos de sistemas.....                                                         | 19        |
| 2.2.1    | Sistemas autônomos .....                                                       | 20        |
| 2.2.2    | Sistemas conectados à rede.....                                                | 20        |
| 2.3      | Etapas de projeto de um sistema de geração fotovoltaico .....                  | 21        |
| 2.3.1    | Potencial Solar da região .....                                                | 22        |
| 2.4      | GRUPOS TARIFÁRIOS .....                                                        | 23        |
| 2.4.1    | Grupo B .....                                                                  | 23        |
| 2.4.2    | Grupo A .....                                                                  | 24        |
| 2.4.3    | Estrutura Tarifária.....                                                       | 25        |
| 2.4.4    | Tarifas aplicadas ao grupo A .....                                             | 26        |
| 2.4.5    | Cálculo do valor da fatura de energia.....                                     | 27        |
| 2.4.6    | Cálculo da Fatura - Tarifa convencional – Grupo A .....                        | 27        |
| 2.5      | SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA.....                                         | 29        |
| 2.5.1    | Autoconsumo remoto .....                                                       | 30        |
| 2.5.2    | Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras .....                       | 30        |
| 2.5.3    | Geração compartilhada.....                                                     | 30        |
| 2.6      | Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para o grupo a.....                  | 31        |
| 2.6.1    | Resoluções normativas 482 e 687 da ANEEL .....                                 | 31        |
| 2.6.2    | Demanda contratada .....                                                       | 32        |
| 2.6.3    | Dimensionamento para compensação total de energia sem aumento da demanda ..... | 32        |
| 2.7      | ANÁLISE DE INVESTIMENTOS .....                                                 | 35        |
| 2.7.1    | Fluxo de caixa.....                                                            | 36        |
| 2.7.2    | Valor presente líquido (VPL) .....                                             | 36        |
| 2.7.3    | Payback.....                                                                   | 37        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>                                                       | <b>38</b> |

|          |                                                                     |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1      | Materiais .....                                                     | 38        |
| 3.2      | Metodologia .....                                                   | 38        |
| 3.2.1    | Análise Econômica Para compensação Total de Energia.....            | 43        |
| 3.2.2    | Análise Econômica Para Dimensionamento pela demanda contratada..... | 51        |
| <b>4</b> | <b> CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                   | <b>63</b> |
| <b>5</b> | <b> REFERÊNCIAS .....</b>                                           | <b>64</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro, por ser um bem de utilidade pública que deve ser prestado a todo o cidadão de forma universal, ainda é um setor com fortes regulações o que até o momento protegem bem o setor. Nos últimos cinco anos, a aplicação de Geração Distribuída (GD) para autoconsumo vem aumentando de forma exponencial com incentivos governamentais, por conta de seus benefícios ao meio ambiente e pelo seu *payback* que vem se tornando cada vez mais rápido devido a redução dos custos dos materiais para produção dos equipamentos necessários para a sua instalação (ANEEL,2021).

A energia solar é tida como uma forma bastante usual de investimento quando se busca a redução nos custos associados ao consumo de energia elétrica. Com isso, o crescimento desse tipo de investimento colocou a energia solar como a segunda fonte de energia mais utilizada na matriz energética nacional. (RODRIGUES, 2023)

Recentemente, no início de janeiro de 2023, a energia solar fotovoltaica tornou-se a segunda fonte mais utilizada no Brasil com cerca de 24 GW de potência instalada o que representa 11,2% do total, ficando atrás apenas da fonte hídrica, deste total (RODRIGUES, 2023).

O retorno financeiro deste tipo de investimento varia de acordo com diversos fatores como o perfil de consumo, nível de radiação solar, reajustes no valor da tarifa de energia, dentre outros. Dessa forma, não existe uma resposta universal quanto ao tempo de retorno do investimento, de forma que se deve analisar caso a caso a viabilidade da instalação através de análises de investimento (LODI, 2011).

O objetivo do presente trabalho é um estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaico em empresas, realizando uma análise do potencial de geração da região em que se encontra, da área disponível para instalação de placas, da demanda de energia elétrica da empresa, sua fatura de energia, os custos para instalação e manutenção do sistema proposto.

Foi efetuada uma análise pelo grupo tarifário na qual a empresa se encontra, sua atual demanda contratada, e o seu consumo médio anual.

Visando alcançar o objetivo geral, traçou-se os objetivos específicos, a energia solar fotovoltaica, os tipos de sistemas, as etapas de projeto de um sistema de geração fotovoltaico, estudo e análise dos grupos tarifários e a viabilidade técnica e econômica na implantação desses sistemas de geração de energia.

Com base nos objetivos específicos e no embasamento teórico buscar-se-á atingi-los

através dos procedimientos metodológicos adotados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico, serão abordadas de forma sucinta a matriz energética brasileira e a importância que a energia solar fotovoltaica tem para o suprimento do consumo de energia elétrica. Além disso, apresenta as normativas estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para instalação de sistemas deste tipo.

### 2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O sol é a estrela que gera calor e luz fundamentais para manutenção da vida na Terra. Sua energia vem da fusão nuclear dos átomos de hidrogênio que se fundem mediante uma cadeia de reações que gera átomos de hélio e libera energia solar difundida pelo espaço por radiação eletromagnética. Isso o torna uma energia renovável, pois ele está disponível a cada novo dia. (Simepe Energia, 2021).

Com o passar dos anos, foi descoberto que o selênio também convertia luz em eletricidade. Em 1883, Charles Fritts criou a primeira célula solar feita de selênio revestida de ouro, marcando o início da tecnologia fotovoltaica. Somente em 1905, o efeito fotoelétrico foi compreendido pelo aprimoramento através de estudos de Albert Einstein que apontaram a emissão de elétrons de uma superfície em interação com a onda eletromagnética, visto que a descoberta, na verdade, foi feita pelo físico Heinrich Hertz em 1887. No ano de 1932 foi descoberto por Audobert e Stora o efeito fotovoltaico no seleneto de cádmio, material utilizado atualmente. (Quantum Engenharia, 2020).

A primeira aplicação de painel solar se deu em 1958 quando o satélite Vanguard I foi lançado no espaço com um painel de 1 W para alimentar seu rádio. Consequente, foram instalados os primeiros sistemas fotovoltaicos em estabelecimentos e residências, e até mesmo em navios, ônibus e aviões. (Quantum Engenharia, 2020).

#### 2.1.1 Recurso Solar

O Sol é a estrela mais próxima da Terra, constituído de matéria gasosa, principalmente hidrogênio em altíssima temperatura. Possui um diâmetro de  $1,39 \times 10^9$  m e localiza-se a uma distância de  $1,5 \times 10^{11}$  m da Terra. A temperatura efetiva do Sol é de aproximadamente  $5.488,85^\circ\text{C}$  (MARAN, 2004).

O início da utilização dessa fonte de energia no Brasil ocorreu a partir de 2012, quando

foi publicada a resolução normativa 482/2012 (ANEEL, 2012). Desde então, o crescimento da utilização dessa fonte ocorre de forma de rápida, sendo que no final de 2022, com 10 anos de regulamentação, alcançou-se quase 24 GW de potência instalada (ABSOLAR, 2023). Projeções indicam crescimento do setor em 10 GW ao longo do ano de 2023, podendo chegar a 34 GW de potência instalada até o mês de dezembro (HEIN, 2023).

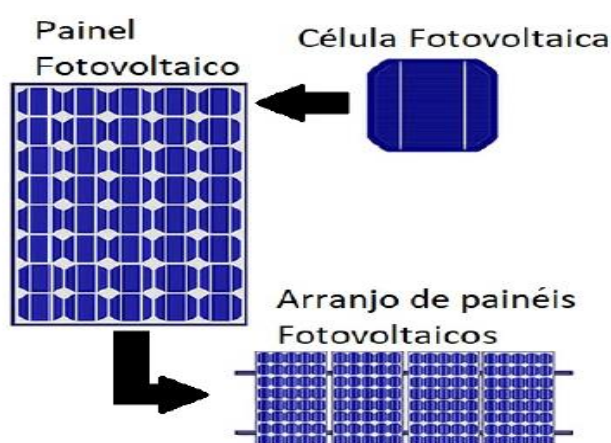
### 2.1.2 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é um fenômeno responsável pela criação de uma tensão elétrica ou uma corrente elétrica, sempre por um dispositivo fotovoltaico, após estar exposto à luz solar.

A energia dos fótons corresponde à frequência de luz da qual faz parte, sendo que esta pode assumir inúmeras quantidades de energia. No entanto, em uma célula solar, apenas a energia absorvida pelo elétron será suficiente para fazê-lo saltar da camada de valência para a camada de condução, estando a outra parte perdida basicamente em forma de calor (RICHARDS & SHALAV, 2006).

Uma célula solar fornece tipicamente algumas dezenas de miliampéres (mA) e uma tensão na ordem de 0,5V. As células solares são conectadas em série, formando os módulos. Estes módulos são montados em painéis fotovoltaicos. A Figura 2.1 mostra como as células solares são organizadas em um painel fotovoltaico:

Figura 2.1 - Sistemas de geração de energia solar fotovoltaica.



Fonte: DUARTE (2018).

Atualmente existem três grandes gerações de células fotovoltaicas, desenvolvida por diversos materiais e tecnologias resultantes de objetivos diferentes em sua fabricação.

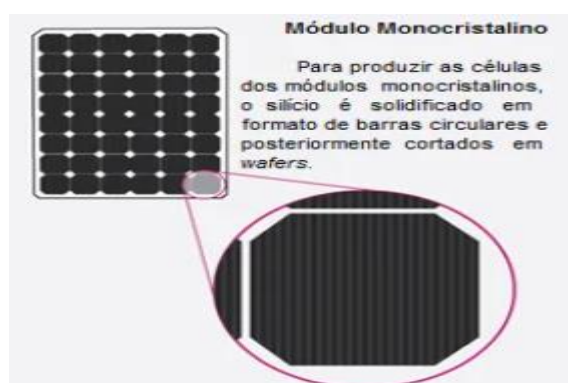
(KHALIQ & ONAR, 2009).

### 2.1.3 Tipos de Células Fotovoltaicas

A primeira geração de células solares tem o silício como seu material principal, sendo subdividido em dois processos de fabricação, o silício monocristalino e também o silício policristalino, tecnologia esta, que ocupa a maior parte do mercado atualmente, “por ser considerada uma tecnologia consolidada e confiável, e por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível” (CEPEL & CRESESB 2014).

**Silício monocristalino:** nas células de silício monocristalino a estrutura é uniforme por se tratar de um único cristal, o que está diretamente ligado à forma com que os elétrons são conduzidos no material. Logo, essas células são mais eficientes por não terem barreiras para cruzar durante o transporte dos elétrons. Porém para que essas células sejam eficientes é necessário que o material passe por um processo de dopagem com o objetivo de criar camadas dos tipos p e n. “o processo de dopagem de um semiconductor consiste na introdução de impurezas no material com o objetivo de modificar suas propriedades elétricas” (PEREIRA, 2016).

Figura 2.2 - Células de silício Monocristalino.



Fonte: disponível <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>> acesso em 15/11/2023

**Silício policristalino:** O silício policristalino difere-se por ter um processo de fabricação mais econômico e menos rigoroso, já que não depende de tanta complexidade na produção do cristal. Obtido a partir da fusão de silício em moldes, o material tem um lento processo de solidificação. “Nesse processo os átomos não se organizam em um único cristal. Forma-se uma estrutura de múltiplos cristais com superfícies de separação entre os cristais”

(PEREIRA, 2016).

Figura 2.3 – Células de silício Policristalino

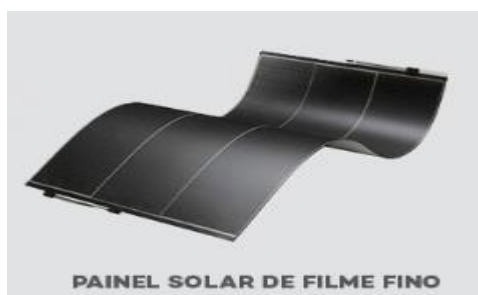


Fonte: disponível <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>> acesso em 15/11/2023

Diante das barreiras criadas pela estrutura policristalina, temos um fluxo de elétrons menos eficiente, justificando então a menor eficiência de um painel policristalino com relação ao monocristalino. Uma vantagem que pode ser destacada é a quantidade de energia utilizada no processo de fabricação, significativamente menor. (CEPEL & CRESESB, 2014)

O mercado das células solares de segunda geração é dominado por três materiais de filmes finos, telureto de cádmio, silício amorfo e disseleneto de cobre, índio e gálio, dentre as vantagens das células dessa geração podemos citar a menor energia gasta na produção também como a menor utilização em materiais por necessitarem de uma fina camada de material, nota-se grande avanço na inclusão dessas células em projetos arquitetônicos visto que apresentam melhor aparência (JOÃO, 2016).

Figura 2.4 Painel solar de filme fino



Fonte: disponível <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>> acesso em 15/11/2023

A segunda geração, marcada pelos filmes finos, surgiu no início da década de 90 com

o objetivo de aperfeiçoar a redução dos custos de produção. O processo de deposição por vaporização ou por eletrodeposição evita os desperdícios que ocorrem na serragem dos wafers cristalinos (PASSOS, 2016).

As células solares de terceira geração têm como objetivo alcançar altos níveis de eficiência juntamente com um menor custo de produção, utilizando vantagens da primeira e segunda geração. Pode-se incluir nessa definição tecnologias orgânicas, pontos quânticos, células tandem/multijunção, células de portadores quentes, células solares sensibilizadas por corantes e tecnologias de upconversion (SILVA, 2001).

Limite de Shockley-Queisser: sabe-se que, de acordo com o limite de Shockley-Queisser, a eficiência termodinâmica de uma célula solar de única junção é de pouco mais de 33%. Assumindo que, a uma temperatura ambiente de 300K, um espectro AM1,5 esteja incidindo em uma célula solar (RÜTHE, 2016).

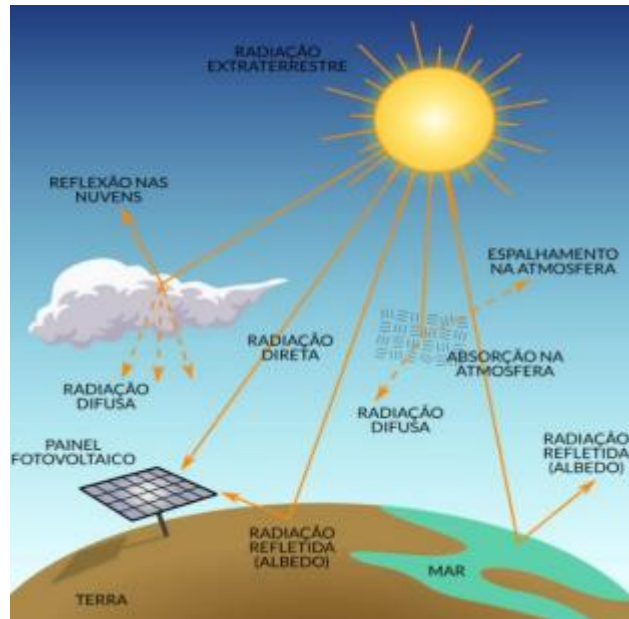
As células de primeira e segunda geração, supracitadas, não são capazes de ultrapassar o limite em questão, devido à utilização de uma única junção p e n. E na tentativa de superar essa barreira enfrentada pelas gerações anteriores de painéis solares, novos conceitos vêm sendo discutidos nos últimos anos, e estes conceitos são considerados a terceira geração dos painéis solares. Por serem constituídas de filmes finos sobrepostos as células de multijunção são consideradas como parte das células de segunda geração, mas apesar disso, deve-se ressaltar a capacidade de atingir altos níveis de eficiência, quando separadas em camadas de semicondutores com gaps de energias diferentes (BROWN; WU, 2009)

#### 2.1.4 Radiação Solar

Quando a luz solar atinge uma célula fotovoltaica, ela produz uma pequena corrente elétrica. Essa corrente é recolhida por fios ligados à célula, e transferida para os demais componentes do sistema. Sendo assim, quanto mais células fotovoltaicas são ligadas em série ou em paralelo, maior a corrente e tensão produzidas (KEMERICH et al, 2016).

Da mesma forma, a radiação possui conceitos definidos como pode-se observar na figura 2.5:

Figura 2.5 – Componentes da radiação solar.



Fonte: Tiepolo *et al.*, 2017

As componentes da radiação solar são classificadas conforme itens a até d:

- a) Radiação difusa: luz solar recebida indiretamente, resultante da ação da difração nas nuvens, nevoeiro, poeiras em suspensão e outros obstáculos na atmosfera. (TIEPOLO *et al.*, 2017)
- b) Radiação direta: luz solar recebida diretamente do sol através de um raio solar. (TIEPOLO *et al.*, 2017)
- c) Radiação refletida: parcela da luz solar proveniente da reflexão dos objetos circundantes com edifícios, solo, etc. (TIEPOLO *et al.*, 2017)
- d) Radiação Global: radiação solar total que atinge uma superfície sendo igual a soma da radiação direta, da radiação difusa e da radiação refletida. (TIEPOLO *et al.*, 2017)
- e) Pode ser definida como uma forma de transferência de energia proveniente do sol e que se propaga pela terra na forma de ondas eletromagnéticas. (TIEPOLO *et al.*, 2017)

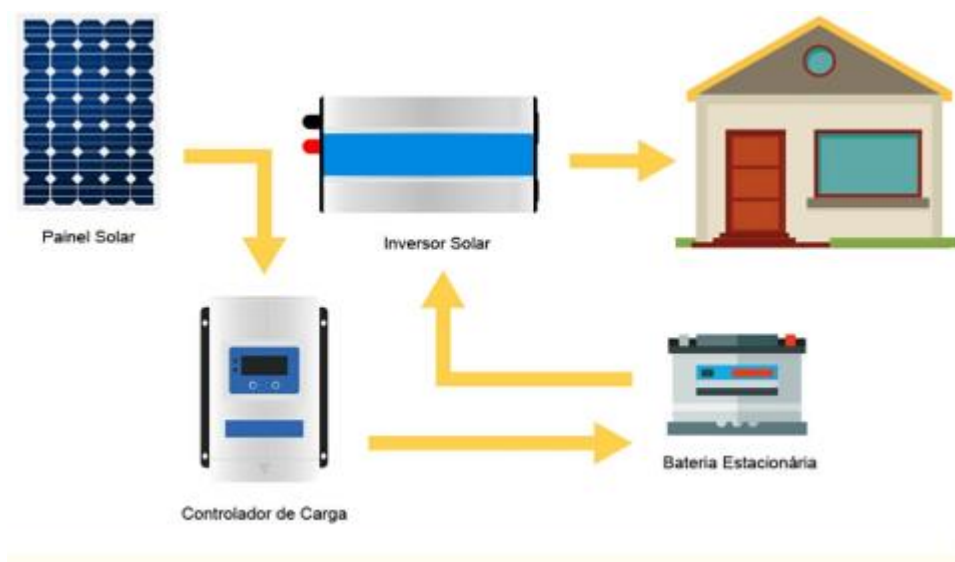
## 2.2 TIPOS DE SISTEMAS

As aplicações de um sistema fotovoltaico podem ser divididas em dois grupos: sistemas autônomos e sistemas conectados à rede elétrica.

### 2.2.1 Sistemas autônomos

Os sistemas autônomos são divididos em: sistemas autônomos isolados e sistemas autônomos híbridos.

Figura 2.6 – Representação esquemática do sistema autônomo.



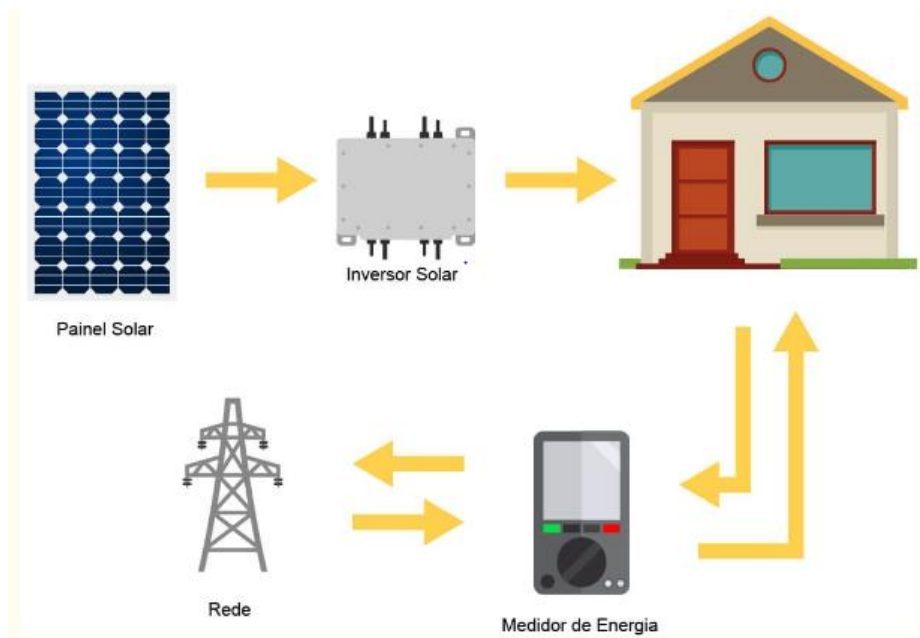
Fonte: disponível <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>> acesso em 15/11/2023

Os sistemas autônomos isolados consistem em sistemas puramente fotovoltaicos, nos quais não são conectados à rede elétrica de distribuição, podendo ser configurados de diversas formas, de acordo com cada aplicação (com ou sem acumulador, com carga de corrente alternada, com carga de corrente contínua (banco de baterias) ou até mesmo as duas num único sistema). (NEOSOLAR)

### 2.2.2 Sistemas conectados à rede

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede dispensam o uso de acumuladores, já que a energia por eles produzida pode ser consumida diretamente pela carga, ou injetada diretamente na rede elétrica convencional, que podem ser consumidas pelas unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição. Estes sistemas são basicamente de um único tipo e são aqueles em que o gerador fotovoltaico representa uma fonte que é complementar ao sistema elétrico no qual está conectado (H.A. BARROS, 2011).

Figura 2.7 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de distribuição da concessionária.



Fonte: disponível <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>> acesso em 15/11/2023

Como podemos observar na figura 2.7, esse tipo de sistema conectado à rede não necessita de acumuladores de energia como baterias, pois sua potência excedente acaba sendo injetada na rede de distribuição.

### 2.3 ETAPAS DE PROJETO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO

O projeto de um sistema fotovoltaico envolve orientação dos módulos, disponibilidade de área, estética, disponibilidade do recurso solar, demanda a ser atendida e diversos outros fatores. Através do projeto pretende-se adequar o gerador fotovoltaico às necessidades definidas pela demanda. O dimensionamento de um sistema fotovoltaico (SFV) é o ajuste entre a energia radiante recebida do sol pelos módulos fotovoltaicos e a necessidade de suprir a demanda de energia elétrica (PINHO & GALDINO, 2014).

As principais etapas do projeto de um SFV são as seguintes (PINHO & GALDINO, 2014):

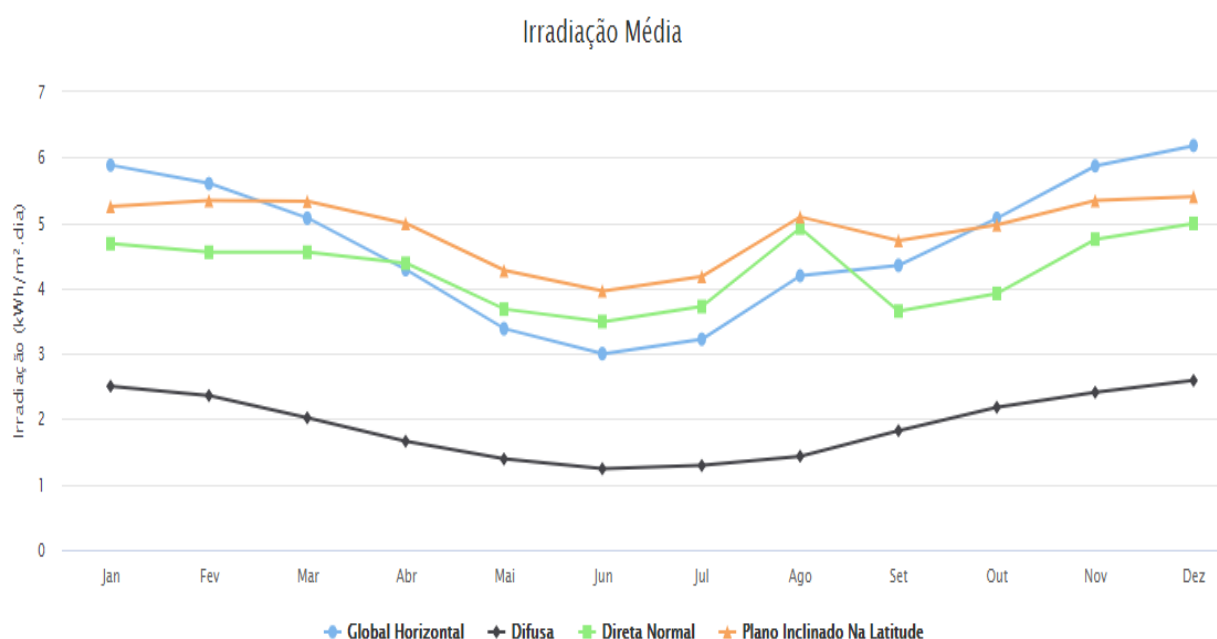
- a) Levantamento adequado do recurso solar disponível no local da aplicação;
- b) Definição da localização e configuração do sistema;

- c) Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- d) Dimensionamento do gerador fotovoltaico;
- e) Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência para interligação com a rede.

### 2.3.1 Potencial Solar da região

Os dados de radiação solar podem estar especificados em termos de valores instantâneos do fluxo de potência ou valores de energia por unidade de área (com diversos períodos de integração), conhecidos como irradiância e irradiação, respectivamente. A forma mais comum de apresentação dos dados de radiação é através de valores médios mensais para a energia acumulada ao longo de um dia. Também é comum determinar-se um “Ano Meteorológico Padrão ou Típico” (em língua inglesa TMY – *typical meteorologica year*) a partir de informações armazenadas ao longo de vários anos de medidas (PINHO & GALDINO, 2014).

Figura 2.8 - Índices de irradiação do estado do Paraná.



Fonte: TIEPOLO, et al. (2017)

Na figura 2.11, podemos ver o índice de irradiação solar no estado do Paraná, o valor varia entre os meses seguindo as estações do ano tendo seu maior nível de irradiação entre novembro e fevereiro chegando a 6kW/m² dia, e diminuindo nos meses entre abril e agosto atingindo uma mínima de 3kW/m²dia.

## 2.4 GRUPOS TARIFÁRIOS

Os grupos tarifários são utilizados para fazer o enquadramento do consumidor, em função do nível de tensão fornecida. Há dois grupos, com vários subgrupos em cada um: O Grupo B e o Grupo A. (RN 418, ANEEL 2010)

### 2.4.1 Grupo B

Inclui os consumidores que recebem energia elétrica em tensão inferior a 2,3 kV (baixa tensão), utilizando ramais monofásicos, bifásicos ou trifásicos. (RN 418, ANEEL 2010)

São cativos, ou seja, só podem comprar energia da concessionária que atende a sua região (não têm liberdade para contratar outra concessionária). Isso deve mudar a partir de 2021 (Ambiente de Contratação Livre - Ministério de Minas e Energia). (RN 418, ANEEL 2010) Não são obrigados a contratar demanda, mas pagam custo de disponibilidade.

Não pagam o consumo de energia reativa. Pagam unicamente o consumo de energia elétrica ativa (kWh). Por este motivo, suas faturas são monômias (aplicáveis apenas ao consumo). (RN 418, ANEEL 2010)

Em geral o Grupo B abrange consumidores residenciais, pequenos comércios e edifícios residenciais atendidos em 127V ou 220V (RN 418, ANEEL 2010).

O Grupo B é subdividido em 4 subgrupos, cada um com suas opções de tarifação.

Tabela 2.1 – Características dos Subgrupos grupo B

| Subgrupo Classes de consumidor |                                                                                                                                            |        | Opção de Tarifação                     |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------|
| B1                             | Residencial e residencial de baixa renda. Para os de baixa renda, existe subsídio de até 65% da tarifa, em função do consumo mensal em Kwh | <2,3kv | Convencional Monômia.<br>Tarifa Branca |
| B2                             | Classe rural e cooperativas de eletrificação rural e serviço público de irrigação. Também possuem tarifa diferenciada.                     | <2,3kv | Convencional Monômia.<br>Tarifa Branca |
| B3                             | Outras classes (industrial, comercial, serviços poder público, serviço público etc.)                                                       | <2,3kv | Convencional Monômia.<br>Tarifa Branca |
| B4                             | Iluminação pública                                                                                                                         | <2,3kv | Convencional Monômia                   |

FONTE: Adaptado da Resolução Normativa nº 418 (ANEEL 2010)

Grupo B paga Custo de Disponibilidade. Os consumidores do Grupo B são obrigados a pagar o Custo de Disponibilidade para a concessionária, um valor que equivale a certo consumo de energia elétrica e que depende de a instalação ser monofásica, bifásica ou trifásica. (RN 418, ANEEL 2010)

#### 2.4.2 Grupo A

Consumidores que recebem energia elétrica em tensão iguais ou superiores a 2,3 kV (alta tensão), utilizando ramais trifásicos, ou são atendidos por sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária. (RN 418, ANEEL 2010)

Não são necessariamente “cativos”, ou seja, em certos casos podem contratar o serviço de uma concessionária que atue em região diferente do local onde está o consumidor. (RN 418, ANEEL 2010)

São obrigados a contratar demanda (potência). (RN 418, ANEEL 2010) Pagam pelo consumo de energia ativa (kWh) e pela energia reativa. Assim, suas faturas são chamadas binômias. (RN 418, ANEEL 2010) Também pagam por demanda ultrapassada (kW), caso consumam mais que a demanda contratada. (RN 418, ANEEL 2010) Em geral o Grupo A inclui shopping centers, grandes centros comerciais, indústrias, agências bancárias, prédios residenciais e comerciais. (RN 418, ANEEL 2010)

O Grupo A é subdividido em 6 subgrupos principais em relação às opções de tarifação.

Tabela 2.2 – Características dos Subgrupos grupo A

| Subgrupo | Classes de consumidor | Tensão                                   | Opção de Tarifação                                  |
|----------|-----------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| A1       | Indústria e comércio  | Maior ou igual a 230kV                   | Tarifa Azul                                         |
| A2       | Indústria e comércio  | De 88 kV até 138kV                       | Tarifa Azul                                         |
| A3       | Indústria e comércio  | 69 kV                                    | Tarifa Azul                                         |
| A3A      | Indústria e comércio  | De 30 kV até 44 kV                       | Convencional Monômia                                |
| A4       | Indústria e comércio  | De 2,3 kV até 25 kV                      | Convencional Binômia<br>Tarifa Verde<br>Tarifa Azul |
| A5       | Indústria e comércio  | Menor que 2,3 KV com sistema subterrâneo | Convencional Binômia<br>Tarifa Verde<br>Tarifa Azul |

FONTE: Adaptado da Resolução Normativa nº 418 (ANEEL 2010)

Consumidores do Grupo A não pagam Custo de Disponibilidade, mas são obrigados a contratar da concessionária uma certa demanda de potência (kW), com valor igual ou superior a 30 kW. Pagam tanto pela energia ativa (kWh) quanto pela energia reativa (kVArh), e pagam se ultrapassarem a demanda contratada (kW). Assim, as tarifas deste grupo são binômias (consumo e demanda). (RN 418, ANEEL 2010)

#### 2.4.3 Estrutura Tarifária

Tarifa monômia, tarifa de fornecimento de energia elétrica constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa (baixa tensão). (RN 418, ANEEL 2010)

Tarifa binômia, conjunto de tarifas de fornecimento constituído por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda faturável (alta tensão). (RN 418, ANEEL 2010)

A estrutura tarifária binômia está dividida em convencional e horária, no que diz respeito aos componentes de energia e demanda, bem como a relatividade de preços nos diversos horários. (RN 418, ANEEL 2010)

Estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano, e aplicada aos consumidores atendidos em tensão inferior a 69 kV com demanda contratada inferior a 150kW. (RN 418, ANEEL 2010)

As tarifas horárias, por sua vez, estão divididas em azul, verde e branca. Tais tarifas têm preços diferenciados em relação às horas do dia (ponta e fora de ponta). (RN 418, ANEEL 2010)

Tarifa horária azul, destinada a consumidores que têm alto fator de carga no horário de ponta, com capacidade de modulação de carga neste horário. (RN 418, ANEEL 2010)

A tarifa azul é composta por tarifas diferenciadas, de acordo com as horas de utilização do dia. Composta de demanda na ponta, demanda fora da ponta, consumo na ponta e consumo fora da ponta. (RN 418, ANEEL 2010)

A tarifa azul está disponível a todos os consumidores ligados em alta-tensão, sendo obrigatória à aplicação a todos os consumidores dos níveis A-1, A-2 e A-3, e opcional aos demais níveis. (RN 479, ANEEL 2012)

Tarifa horária verde, destinada aos consumidores com baixo fator de carga no horário de ponta, com capacidade limitada de modulação neste mesmo horário. (RN 418, ANEEL 2010)

A tarifa verde é composta por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e por uma única tarifa de demanda de potência em qualquer horário de utilização. Composta de demanda única, independente de posto horário, consumo na ponta, consumo fora da ponta, tarifa horária branca. (RN 479, ANEEL 2012)

Destinada os consumidores atendidos em baixa tensão (127V, 220V, 380V ou 440V), exceto as unidades consumidoras da subclasse baixa renda da classe residencial, do tipo iluminação pública ou as unidades consumidoras que façam uso do sistema de pré-pagamento. (RN 479, ANEEL 2012)

#### 2.4.4 Tarifas aplicadas ao grupo A

Para realizar o estudo de viabilidade econômica e o dimensionamento do sistema, sendo que o objetivo do presente trabalho são consumidores que fazem parte do grupo tarifário A, e os dados de irradiação solar são referentes ao estado do Paraná, sendo a COPEL (Companhia Paranaense de Energia), a responsável pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica do estado, serão utilizados os valores das tarifas vigentes para este grupo como pode-se ver na tabela 2.3:

Tabela 2.3 – Tabela de tarifas COPEL

| GRUPO<br>TARIFÁRIO | PREÇO DA DEMANDA |       |       |       | TARIFA     |         | TUSD  |        |            |         |       |         |
|--------------------|------------------|-------|-------|-------|------------|---------|-------|--------|------------|---------|-------|---------|
|                    | FORA PONTA       |       | PONTA |       | FORA PONTA |         | PONTA |        | FORA PONTA |         | PONTA |         |
| A1                 | R\$              | 11,24 | R\$   | 10,64 | R\$        | 0,36642 | R\$   | 0,5762 | R\$        | 0,07958 | R\$   | 0,07958 |
| A2                 | R\$              | 18,51 | R\$   | 31,59 | R\$        | 0,36642 | R\$   | 0,5762 | R\$        | 0,08713 | R\$   | 0,08713 |
| A3                 | R\$              | 14,53 | R\$   | 22,39 | R\$        | 0,36642 | R\$   | 0,5762 | R\$        | 0,08700 | R\$   | 0,08700 |
| A3A                | R\$              | 28,80 | R\$   | 56,54 | R\$        | 0,36843 | R\$   | 0,5782 | R\$        | 0,12636 | R\$   | 0,12636 |
|                    | R\$              | 28,80 | R\$   | 28,80 | R\$        | 0,36843 | R\$   | 0,5782 | R\$        | 0,12636 | R\$   | 1,49771 |
| A4                 | R\$              | 28,80 | R\$   | 56,54 | R\$        | 0,36843 | R\$   | 0,5782 | R\$        | 0,12636 | R\$   | 0,12636 |
|                    | R\$              | 28,80 | R\$   | 28,80 | R\$        | 0,36843 | R\$   | 0,5782 | R\$        | 0,12636 | R\$   | 1,49771 |
| AS                 | R\$              | 22,41 | R\$   | 87,28 | R\$        | 0,36989 | R\$   | 0,5797 | R\$        | 0,17061 | R\$   | 0,17061 |
|                    | R\$              | 22,41 | R\$   | 22,41 | R\$        | 0,36989 | R\$   | 0,5797 | R\$        | 0,17061 | R\$   | 2,28874 |

Fonte: Adaptado de COPEL

Com base nos valores dados pela tabela pode-se calcular o valor da fatura de energia de uma unidade consumidora do grupo A.

#### 2.4.5 Cálculo do valor da fatura de energia

Em estudos realizados nos anos oitenta, foi constatado que o perfil de comportamento do consumo ao longo do dia encontra-se vinculado aos hábitos do consumidor e às características próprias do mercado de cada região. Foi também caracterizado que o sistema elétrico brasileiro, em quase sua totalidade, possui geração por meio de hidroelétricas. Portanto, o maior potencial de geração concentra-se no período chuvoso. (Eletrobras PROCEL,2001)

Considerando, os parâmetros de tributação e a sistemática horo-sazonal, têm-se as tarifas Convencional e Horo-sazonal. O cálculo das faturas no sistema convencional considera apenas os parâmetros de tributação. Enquanto no sistema horo-sazonal é considerado os parâmetros de tributação e as variações horo-sazonais descritas acima. Sendo que na estrutura Horo-sazonal têm-se as tarifas: Azul e Verde. (Eletrobras PROCEL,2001)

A Tarifa Azul aplica-se às unidades consumidoras que possuem processo produtivo contínuo e enquadram-se no Grupo A. A adoção desta é obrigatória aos consumidores dos tipos A-1, A-2 e A-3 e opcional aos demais. (Eletrobras PROCEL,2001)

Enquanto, a Tarifa Verde aplica-se a consumidores com capacidade de modulação do processo produtivo. Esta é opcional aos consumidores do Grupo A tipos A-3a, A-4 e A-S. (Eletrobras PROCEL,2001)

Apresenta-se na tabela 2.4 os itens considerados nos cálculos das faturas ao aplicar as tarifas Azul e Verde.

Tabela 2.4 - Itens considerados nos cálculos de faturas de energia elétrica para as tarifas Azul e Verde.

| Tarifa Azul           | Tarifa Verde          |
|-----------------------|-----------------------|
| Demanda na ponta      | Demanda               |
| Demanda fora de ponta | Consumo na Ponta      |
| Consumo na Ponta      | Consumo Fora de Ponta |
| Consumo Fora de Ponta |                       |

Fonte: Adaptado de Eletrobras PROCEL 2001

#### 2.4.6 Cálculo da Fatura - Tarifa convencional – Grupo A

Somente aplicável de forma opcional aos consumidores dos tipos A-3a, A-4 e A-S. (Eletrobras PROCEL,2001)

Tem-se:

$$F_t = D_{fat} \times T_d + C \times T_c \quad \text{Equação 2.0}$$

Onde  $F_t$  representa o valor da fatura, em reais,  $D_{fat}$  o valor da demanda faturável em kW,  $T_d$  a tarifa de demanda em R\$/kW,  $C$  o consumo de energia elétrica medido no mês em kWh e  $T_c$  a tarifa de consumo em R\$/kW/h. (Eletrobras PROCEL,2001)

#### Cálculo da Fatura - Tarifa Azul

$$F_t = D_{fatp} \times T_{dp} + D_{fatfp} \times T_{dfp} + C_p \times T_{cp} + C_{fp} \times T_{cfp} \quad \text{Equação 1.1}$$

Onde  $F_t$  representa o valor da fatura em R\$,  $D_{fatp}$  a demanda faturada no horário de ponta em kW,  $T_{dp}$  a tarifa de demanda de ponta em R\$/kW,  $D_{fatfp}$  a demanda faturada no horário fora de ponta em kW,  $T_{dfp}$  a tarifa de demanda fora de ponta em R\$/kW,  $C_p$  o consumo medido no mês no horário de ponta em kWh,  $T_{cp}$  a tarifa de consumo no horário de ponta em R\$/kWh,  $C_{fp}$  o consumo medido no mês no horário fora de ponta em kWh,  $T_{cfp}$  a tarifa de consumo no horário fora de ponta em R\$/kWh. (Eletrobras PROCEL,2001)

$$F_t = D_{fat} \times T_D + C_p \times T_{cp} + C_{fp} \times T_{cfp} \quad \text{Equação 2.2}$$

Cálculo da fatura tarifa verde, onde  $F_t$  se refere ao valor da fatura em R\$,  $D_{fat}$  é a demanda faturada em kW,  $T_D$  a tarifa da demanda em R\$/kW,  $C_p$  o consumo medido no mês no horário de ponta em kWh,  $T_{cp}$  a tarifa de consumo no horário de ponta em R\$/kWh,  $C_{fp}$  o consumo medido no mês no horário fora de ponta em kWh,  $T_{cfp}$  a tarifa de consumo no horário fora de ponta em R\$/kWh. (Eletrobras PROCEL,2001)

As equações a seguir, representam as expressões matemáticas para o cálculo dos valores, em reais da TUSD: (Eletrobras PROCEL,2001)

A equação 2.3 é utilizada para o cálculo da taxa de utilização do sistema de distribuição para consumidores com tarifa horo-sazonal azul.

$$TUSD_{AZUL} = (D_p \times T_{dp}) + (D_{fp} \times T_{dfp}) + (C_p \times T_{encargop}) + (C_{fp} \times T_{encargofp}) \quad \text{Equação 2.3}$$

A equação 2.4 é utilizada para o cálculo da taxa de utilização do sistema de distribuição para consumidores com tarifa horo-sazonal verde.

$$TUSD_{VERDE} = (D_p \times T_{dp}) + (C_p \times T_{encargop}) + (C_{fp} \times T_{encargofp}) \quad \text{Equação 2.4}$$

Onde TUSDAzul total do fio da TUSD na modalidade horo-sazonal azul, com impostos, em R\$, TUSDVerde total do fio da TUSD na modalidade horo-sazonal verde, com impostos, em R\$,  $D_p$  a demanda contratada para o horário de ponta, em kW,  $D_{fp}$  a demanda contratada para o horário fora de pontam, em kW,  $C_p$  o consumo no horário de ponta, em kWh,  $C_{fp}$  o Consumo no horário fora de ponta, em kWh,  $T_{Dp}$  a Tarifa de demanda contratada para o horário de ponta, em R\$/kW,  $T_{Dfp}$  a Tarifa de demanda contratada para o horário fora de ponta, em R\$/kW,  $T_{Encargop}$  a Tarifa de encargo para o horário ponta, em R\$/kWh,  $T_{Encargofp}$  a Tarifa de encargo para o horário fora de ponta, em R\$/kWh; (Eletrobras PROCEL,2001)

Após o cálculo da TUSD, calcula-se a parcela referente a TE, a equação 2.5 expressa matematicamente o cálculo dos valores para essa parcela, em reais: (Eletrobras PROCEL,2001)

$$TE = (C_p \times T_{cp}) + (C_{fp} \times T_{Fp}) \quad \text{Equação 2.5}$$

Onde TE corresponde ao valor da fatura de energia em R\$,  $T_{cp}$  a tarifa de consumo para o horário de ponta em R\$/kWh,  $T_{cfp}$  a tarifa de consumo para o horário fora de ponta em R\$/kWh. (Eletrobras PROCEL,2001)

Com isso, obtém-se o valor final da fatura de energia elétrica do consumidor no mercado regulado, sendo apresentada matematicamente pela equação 2.6: (Eletrobras PROCEL,2001)

$$V_{fatura} = V_{TUSD} + V_{TE} \quad \text{Equação 2.6}$$

Com os valores obtidos pode-se efetuar a análise financeira, a partir dos dados de consumo, demanda e o valor das tarifas.

## 2.5 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

A Norma Copel aplicável a conexão de micro e minigeração no sistema de compensação é NTC 905200.

Conforme as regras estabelecidas pela Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021, modificada pela Resolução Normativa ANEEL nº 1.059/2023, é permitido aos consumidores instalar geradores de pequeno porte em suas unidades consumidoras e utilizar o sistema elétrico da Copel para injetar o excedente de energia, que será convertido em crédito de energia válido por 60 meses.

Estes créditos poderão ser utilizados para abater do consumo da própria unidade consumidora nos meses seguintes ou de outras unidades consumidoras que precisam estar previamente cadastradas para esse fim e atendidas pela mesma distribuidora (Copel), cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, possuidor do mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. (RN 1059/2023)

#### 2.5.1 Autoconsumo remoto

Caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada. (RN 1000/21)

#### 2.5.2 Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras

Caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento; (RN 1000/21)

#### 2.5.3 Geração compartilhada

Caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de associações civis, consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada; (RN 1000/21)

## 2.6 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA O GRUPO A

Consumidores do grupo A são aqueles que possuem alimentação em média tensão (superior a 2,3 kV). Enquadram-se nessa categoria os consumidores de médio e grande portes como indústrias, shopping centers, universidades, supermercados e grandes propriedades rurais, entre outros. (RN 418, ANEEL 2010)

Essa potência está relacionada com a carga instalada do consumidor, ou seja, com a quantidade e a potência dos equipamentos que o consumidor possui. Por outro lado, a energia consumida é medida em kWh. A energia está associada ao consumo mensal do consumidor. (RN 418, ANEEL 2010)

O consumidor do grupo A paga pelas duas coisas, pelo direito de ter uma demanda contratada (kW), que garante que todos os seus equipamentos e máquinas poderão ser ligados, além de pagar pela energia consumida mensalmente, que é um valor variável. (RN 418, ANEEL 2010)

### 2.6.1 Resoluções normativas 482 e 687 da ANEEL

Essas duas resoluções da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) determinam alguns pontos importantes para consumidores do grupo A que querem instalar um SFV (sistema fotovoltaico):

- a) O limite de potência do sistema fotovoltaico que pode ser instalado pelo cliente é igual ao valor da demanda contratada (potência) em kW;
- b) O consumidor sempre pagará a demanda contratada, independentemente de quanta energia consumir no mês;
- c) A compensação da energia injetada deve ocorrer primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração. Em outras palavras: a compensação dos créditos de energia deve ser prioritariamente feita com o valor da energia no horário em que ela foi produzida. No caso dos sistemas fotovoltaicos a geração se dá durante o dia, no horário fora de ponta. Isso é

um pouco ruim para os sistemas fotovoltaicos, pois eles geram durante o dia, mas gostaríamos de usar a energia compensada no horário da noite;

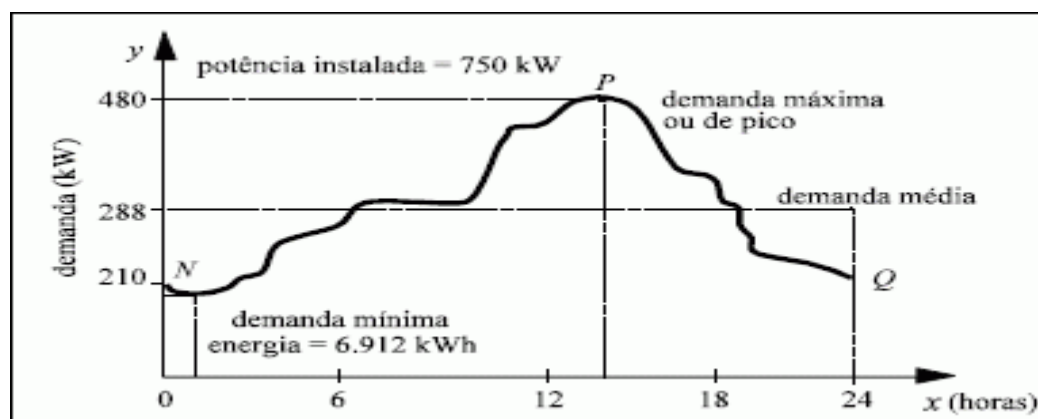
d) A compensação da energia consumida no horário de ponta se dará somente após a compensação total da energia consumida no horário fora de ponta (posto tarifário no qual a geração de energia ocorreu). Essa compensação será feita de acordo com o fator de correção dado pelas tarifas de energia no horário de ponta e fora de ponta (TE Ponta / TE Fora Ponta);

e) Consumidores livres – consumidores que comprem energia no Mercado Livre – não podem participar do sistema de compensação de energia. Isso não os impede de instalar um sistema fotovoltaico, mas as regras e variáveis são outras.

### 2.6.2 Demanda contratada

Um fator importante ao dimensionar o sistema fotovoltaico é a demanda contratada, uma vez que a potência AC do sistema está limitada a este fator.

Figura 2.9 – Exemplo da variação da demanda ao longo do dia.



FONTE: (FILHO, 2017)

A potência ativa, representada por (W) Watts, é calculada através do produto da tensão (V) pela corrente (I), ou seja, é a diferença de potencial com certa intensidade de corrente elétrica que percorre um circuito. (PINTO, 2018).

### 2.6.3 Dimensionamento para compensação total de energia sem aumento da demanda

Neste modelo iremos dimensionar o sistema de geração para uma potência próxima da demanda contratada, no entanto o consumidor não precisará solicitar aumento de demanda junto a concessionária.

Para isso necessitamos dos seguintes parâmetros:

- a) Tipo tarifário;
- b) Tarifa Ponta;
- c) Tarifa Fora Ponta;
- d) Demanda Contratada;
- e) Consumo médio Ponta;
- f) Consumo médio Fora Ponta;

Para que seja possível estimar o valor do sistema fotovoltaico a ser instalado que gere toda a potência consumida por um determinado consumidor (autoconsumo), é necessário ajustar o consumo no horário de ponta, pois segundo (CRESESB, 2014, apud ANEEL) a potência gerada no horário fora de ponta pode ser usada para abater o valor do consumo no horário de ponta, porém um fator de ajuste é aplicado, segue abaixo na equação 2.7:

$$Ponta_{corrig} = \frac{Consumo_{ponta}}{Fator_{ajuste}} \quad \text{Equação 2.7}$$

Segundo Caderno Temático Micro e Minigeração Distribuída (ANEEL, 2016) o fator de ajuste é o resultado da divisão do valor de uma componente da tarifa (a componente TE – Tarifa de Energia) de ponta pela fora de ponta (nos casos do excedente ser originado no posto tarifário ponta), ou da tarifa fora de ponta pela tarifa de ponta, quando o excedente surgir no posto fora de ponta. Sendo assim a Tarifa de Energia (TE) cobrada é a mesma para as modalidades tarifárias azul e verde e esses valores podem ser obtidos através do site da ANEEL.

Através dos dados de TE é possível obter o valor do fator de ajuste que será usado para corrigir o consumo no horário de ponta de modo a fornecer o valor de quanta energia excedente no horário fora de ponta é necessária ser gerada para que toda a energia no horário de ponta seja compensada.

$$Fator_{ajuste} = \frac{TE_{fora\ ponta}}{TE_{ponta}} = 0,64 \quad \text{Equação 2.8}$$

Com um fator de ajuste de 0,64 significa que a energia gerada fora de ponta e que vai ser compensada no horário de ponta vale apenas 64 %. Sendo assim é necessário gerar uma

quantidade de energia de acordo com o fator de ajuste caso o consumidor deseje suprir todo o seu consumo através da geração fotovoltaica. Uma vez que o fator de ajuste foi definido é possível obter o consumo total para o cálculo da potência do sistema fotovoltaico a ser instalado buscando um autoconsumo. Para obter o valor em kWp a ser instalado utiliza-se a equação 2.9.

$$P_{f_{v_{kWp}}} = \frac{E}{TD * HSP * DIAS} \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde  $P_{f_{v_{kWp}}}$  é a potência do sistema fotovoltaico dada em kWp, TD é a taxa de desempenho, HSP é a quantidade de horas de sol pleno por dia, E se refere a energia que será necessário gerar dado em kWh e DIAS se refere ao número de dias que compõem o consumo E.

A energia (kWh) representada pela letra E na equação é composta pelo consumo no horário fora de ponta somado ao consumo no horário de ponta com o fator de ajuste aplicado caso o consumidor busque instalar um sistema para autoconsumo.

Os sistemas fotovoltaicos residenciais, bem ventilados e não sombreados pode-se obter um TD entre 70% e 80 % nas condições de radiação solar do Brasil. Com isso nas análises feitas neste trabalho o TD considerado para os sistemas será de 0,8 ou 80%.

Buscando realizar a análise da potência do sistema fotovoltaico a ser instalada de forma mais eficiente é necessário adquirir os dados da HSP (horas de sol pleno) que são as horas em que a irradiação solar alcança o seu pico em torno de 1000 W/m<sup>2</sup>. Sendo assim cada consumidor terá horas de sol pleno diferentes. Com isso através da latitude e longitude do local a ser instalado a geração fotovoltaica é possível obter através do site do CRESESB obter o valor médio das horas de sol pleno.

Com o valor em kWp do sistema a ser instalado é possível estimar o custo dele. Sendo assim, é aconselhável ao consumidor do grupo A que visa instalar um sistema de geração fotovoltaica realizar pesquisas de mercado, visando encontrar o preço mais acessível e com melhor qualidade.

O cálculo do custo de um sistema de geração fotovoltaica pode ser obtido com a equação 2.10:

$$Custo_{fotovoltaico} = Potência_{fotovoltaica} * Preço_{kWp} \quad \text{Equação 2.3}$$

Caso o sistema a ser instalado possua uma potência maior que a demanda contratada

que está condizente com o perfil energético do consumidor é necessário contratar uma nova demanda. Sendo assim será pago um valor adicional ao que o consumidor realmente necessita para a demanda. Com isso segue abaixo na equação 2.11.

$$\text{Valor demanda}_{\text{excedente}} = \text{Custo demanda}_{\text{maior}} - \text{Custo demanda}_{\text{autoconsumo}} \quad \text{Equação 2.4}$$

Para calcular a economia gerada por um sistema destinado ao autoconsumo, será necessário levar em consideração o valor pago pela demanda excedente, conforme equação 2.12.

$$\text{Economia}_{\text{autoconsumo}} = \text{Economia}_{\text{total}} - \text{Demanda}_{\text{Excedente}} \quad \text{Equação 2.5}$$

A economia de autoconsumo se refere ao valor que será injetado na rede da concessionária e será utilizada na compensação referente ao consumo de energia da unidade consumidora.

## 2.7 ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

Os investimentos são as ações realizadas com a finalidade de obter lucro ou benefício. Assim, por exemplo, um investimento envolve um desembolso de dinheiro equivalente a um valor em troca de uma quantia de maior valor. Os investimentos são uma prática comum em uma economia de mercado que permite mobilizar recursos com relativa facilidade e eficiência.

Investimentos são, por natureza, aplicações que envolvem os mais diversos riscos que, por muitas vezes, não são ou podem ser premeditados. Não obstante, a análise racional do modo em que o investimento será retomado ao longo do tempo pode garantir seu sucesso. Para tal análise, diferentes metodologias podem ser adotadas, dentre elas o fluxo de caixa, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *Payback* simples.

O mercado tem por objetivo obter a máxima lucratividade com os menores custos. Entretanto, quando não é possível alcançar retornos financeiros almejados, espera-se que os prejuízos sejam minimizados ou, pelo menos, que se tenha a liquidez do investimento realizado, reduzindo o ônus ao investidor.

### 2.7.1 Fluxo de caixa

Dentro dos itens necessários à análise quantitativa da viabilidade de um investimento, o fluxo de caixa é visto como o aspecto mais relevante na decisão. Sua relevância é definida com base na confiabilidade e na exatidão dos fluxos de caixa estimados (KASSAI et al., 2000). Fluxo de Caixa é o movimento de entradas e saídas de dinheiro do caixa da empresa, ou seja, o que se recebe e o que se paga em um negócio. Para um bom controle de fluxo de caixa, é necessário garantir registros detalhados de ganhos e gastos, com disciplina e sem erros. Em uma visão diária, semanal ou mensal, ele já oferece instrumento de verificação e análise para os negócios.

### 2.7.2 Valor presente líquido (VPL)

O método VPL, também conhecido como valor presente líquido, é um dos critérios mais recomendados por especialistas em finanças para decisão de investimento. Esta recomendação está fundamentada no fato de que o VPL considera o valor temporal do dinheiro (um recurso disponível hoje vale mais do que amanhã, porque pode ser investido e gerar juros). (Fonseca & Bruni, 2010)

O valor presente líquido, é a fórmula econômico-financeira capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial. (Fonseca & Bruni, 2010)

Dessa forma, o valor presente líquido (VPL) de um projeto de investimento pode ser definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado. Em outras palavras, é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos. É uma das possíveis técnicas para realizar o orçamento de capital para uma empresa. (Fonseca & Bruni, 2010)

O valor presente líquido matematicamente, é descrito pela equação 2.13:

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad \text{Equação 2.6}$$

Onde  $FC_t$  representa os fluxos de caixa,  $i$  é a taxa de atratividade e  $t$  é um intervalo de tempo finito.

Para efeito de cálculo do VPL na aplicação de uma usina solar, é considerado que os equipamentos possuem uma depreciação linear de forma que no final dos 25 anos o valor dos equipamentos é zero.

### 2.7.3 Payback

O *Payback* trata-se de um indicador usado nas empresas para calcular o período de retorno de investimento em um projeto. Em palavras mais técnicas, *Payback* é o tempo de retorno desde o investimento inicial até aquele momento em que os rendimentos acumulados se tornam iguais ao valor desse investimento. O *Payback* apresenta-se de duas maneiras distintas: simples e descontado. No *Payback* simples não é levado em consideração o valor do dinheiro no tempo, e, portanto, os fluxos de caixa futuros não sofrem influência do custo de oportunidade. Nesta variação do *Payback*, os fluxos de caixa gerados pelo projeto são somados até que seja alcançado o valor investido. Neste exato momento em que o capital é recuperado é que se tem o período de *Payback* simples. (C. Neto, 2009)

Já em relação ao período de *Payback* descontado, para Frezatti (2008), mostrasse como um aprimoramento do *Payback* simples, pois o cálculo do período de retorno só será realizado após todos os valores de benefícios futuros do projeto serem descontados (daí o nome da técnica ser *Payback* descontado) a uma determinada taxa, até o período zero, que é o momento em que ocorre o desembolso do investimento inicial do projeto. Portanto, no período de *Payback* descontado, não serão utilizados os valores nominais dos fluxos, tal qual no simples, e sim os valores descontados para o presente, através de uma taxa de juros. (C. Neto, 2009)

Essa taxa de juros a ser utilizada para o desconto deve ser definida e calculada pela empresa, portanto, trata-se de uma questão subjetiva, mas que deve basear-se em previsões seguras. Neste contexto, o analista do projeto de investimento pode se utilizar de uma taxa baseada no custo de oportunidade: a Taxa de Mínima Atratividade (TMA), ou Taxa de Rentabilidade Mínima Requerida.

### 3 METODOLOGIA

O projeto teve início com base em pesquisa bibliográfica sobre sistemas de geração de energia fotovoltaica visando suas características construtivas, e verificação de suas formas de implementação para escolha da forma que mais se enquadra nas características do projeto.

#### 3.1 MATERIAIS

A sequência foi equacionar as variáveis de consumo de cada unidade consumidora envolvidas para que possam servir de base para o passo seguinte que é dimensionar os componentes a serem utilizados na construção do sistema.

Tendo em mãos as características e quantidades dos componentes a serem utilizados, executou-se um levantamento de custo a fim de verificar a viabilidade do projeto.

#### 3.2 METODOLOGIA

Para realização do estudo primeiramente devemos utilizar as seguintes informações do local:

- a) Incidência solar no local, o valor base utilizado para o dimensionamento do sistema será a média anual do estado Paraná que é de 4,8kwh/m<sup>2</sup> dia;
- b) A potência necessária a instalar, utilizar dados de consumo primeiramente para o dimensionamento e se for necessário o aumento de demanda da empresa dimensionar o sistema de geração fotovoltaico pela demanda atual;
- c) Quantidade de módulos fotovoltaicos, para o presente estudo será utilizada placa de 505W do fabricante SUNOVA SOLAR modelo SS-505-66MTF;
- d) Área e infraestrutura necessárias;
- e) Estimativa de custos do sistema;
- f) Realizar levantamento de dados de consumo, custos, investimentos, para chegar à viabilidade de implantação dos sistemas;

Para a realização do presente estudo, foram utilizadas faturas de energia de 6 empresas da região de Cascavel-PR, com valores de fatura, consumo e grupos tarifários distintos, para isso foram utilizados dados de consumo dos últimos doze meses das unidades consumidoras em questão para obter um valor aproximado de qual deverá ser a potência do sistema fotovoltaico para suprir o consumo desta unidade.

Figura 3.1 – Exemplo de uma das faturas de energia utilizadas para análise e estudo de caso

| [Redacted]                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                  | Mês de Referência<br><b>Setembro/2023</b> | Unidade Consumidora<br>[Redacted] |            |          |        |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|------------|----------|--------|-------|
| [Redacted]                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                  | VENCIMENTO<br><b>01/10/2023</b>           | VALOR A PAGAR<br>[Redacted]       |            |          |        |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                  | FAT-01-20235064812763-96<br>22/09/2023    |                                   |            |          |        |       |
| <b>Informações Técnicas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                             |                  |                                           |                                   |            |          |        |       |
| Mês/Ano Consumo/Use do Sistema: 09/2023 [Redacted]<br>Data de Emissão: 21/09/2023 Perdas de Transformação: 0%<br>Data Real Leit Atual: 31/08/2023 Rel. Transform. Corrente: 150/5<br>Data Real Leit Anterior: 31/07/2023 Rel. Transform. Potencial: 80500/115<br>Data Provável Prox Leitura: 01/10/2023 |                  |                                           |                                   |            |          |        |       |
| <b>Grandezas e Valores para Faturamento</b>                                                                                                                                                                                                                                                             |                  |                                           |                                   |            |          |        |       |
| Produto                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Leitura Anterior | Leitura Atual                             | Medido                            | Contratado | Faturado | Tarifa | Total |
| TE CDE COVID PONTA                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 6022537          | 6162407                                   | 881181,00                         |            |          |        |       |
| ENERGIA ELET CONSUMO PTA                                                                                                                                                                                                                                                                                | 6022537          | 6162407                                   | 881181,00                         |            |          |        |       |
| TE CDE COVID FORA PONTA                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 52383148         | 53554304                                  | 7378282,00                        |            |          |        |       |
| ENERGIA ELET CONSUMO F PTA                                                                                                                                                                                                                                                                              | 52383148         | 53554304                                  | 7378282,00                        |            |          |        |       |
| DEMANDA DISTR USD PONTA                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 529              | 537                                       | 13532,40                          | 14000,00   |          |        |       |
| DEMANDA DISTR USD F PONTA                                                                                                                                                                                                                                                                               | 544              | 536                                       | 13507,20                          | 14000,00   |          |        |       |
| ENERGIA ELETRICA ACL-COM ICMS ST P                                                                                                                                                                                                                                                                      |                  |                                           | 881181,00                         |            |          |        |       |
| ENERGIA ELETRICA ACL-COM ICMS ST F                                                                                                                                                                                                                                                                      |                  |                                           | 7378282,00                        |            |          |        |       |
| ENERGIA ELETRICA CONSUMO                                                                                                                                                                                                                                                                                | 58405685         | 59716711                                  | 0,00                              |            |          |        |       |
| ENERGIA REAT EXC PONTA                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 48.39            | 48.39                                     | 0,00                              |            |          |        |       |
| ENERGIA REAT EXC F PONTA                                                                                                                                                                                                                                                                                | 191.46           | 191.46                                    | 0,00                              |            |          |        |       |

Fonte: Autor.

Utilizando as equações e a média de consumo dessas empresas foi possível calcular o valor médio da fatura de energia para cada caso, isso foi necessário devido ao fato de algumas destas unidades consumidoras estarem utilizando o mercado livre de energia, sendo assim obtém-se um valor mais próximo do real relacionado ao consumo utilizando as tarifas vigentes pela concessionária (COPEL) com impostos.

Na tabela 3.1 pode-se observar os valores referentes as faturas das seis unidades consumidoras que serão analisadas, com suas respectivas demandas contratadas, a média anual de consumo, os valores calculados referentes a taxa de utilização do sistema de transmissão, os valores referentes ao consumo e o valor total da tarifa de energia.

Tabela 3.1 – Dados referentes as seis unidades consumidoras analisadas.

| Caso | Tensão  | Grupo tarifário | Período | Média Consumo | Demanda Contratada | Valor da TE   | Valor total da fatura |
|------|---------|-----------------|---------|---------------|--------------------|---------------|-----------------------|
| 1    | 13,8 kV | A4              | FPTA    | 67889         | 260                | R\$ 28.504,67 | R\$ 53.617,29         |
|      |         |                 | PTA     | 6040          |                    |               |                       |
| 2    | 13,8 kV | A4              | FPTA    | 32757         | 400                | R\$ 15.245,29 | R\$ 39.132,89         |

|   |        |     |      |          |       |                  |                  |
|---|--------|-----|------|----------|-------|------------------|------------------|
|   |        |     | PTA  | 5494     |       |                  |                  |
| 3 | 34 kV  | A3A | FPTA | 124001   | 1000  | R\$ 21.582,60    | R\$ 52.569,94    |
|   |        |     | PTA  | 10228    |       |                  |                  |
| 4 | 34 kV  | A3A | FPTA | 556982   | 1900  | R\$ 237.787,56   | R\$ 392.556,27   |
|   |        |     | PTA  | 56345    |       |                  |                  |
| 5 | 138 KV | A2  | FPTA | 7978282  | 14000 | R\$ 3.431.129,77 | R\$ 4.904.454,78 |
|   |        |     | PTA  | 881181   | 14000 |                  |                  |
| 6 | 138 kV | A2  | FPTA | 11371852 | 22000 | R\$ 4.833.762,08 | R\$ 6.948.661,68 |
|   |        |     | PTA  | 1157410  | 19500 |                  |                  |

Fonte: Autor

A partir da obtenção dos dados de consumo e do custo médio mensal gastos com energia, foi dado a sequência ao dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Foram abordados dois cenários na questão do dimensionamento, primeiramente um sistema que seja capaz de suprir o consumo total da empresa em questão, levando em consideração a necessidade de aumento da demanda contratada pela unidade consumidora, e no segundo cenário o dimensionamento do sistema apenas pela demanda contratada da empresa.

Para os casos em que será necessário aumento da demanda, entram outras questões relevantes no projeto, como a necessidade de instalação de transformadores de potência maiores e adequações em suas respectivas entradas de energia como também um aumento de carga instalada na planta.

Para o dimensionamento foram utilizados os dados de consumo em ponta e fora de ponta utilizando o fator de correção para chegar no valor da potência necessária em kWh necessária para instalação.

Em relação ao custo do kit fotovoltaico, os valores médios de sistemas fotovoltaicos para consumidores finais foram obtidos através de uma pesquisa realizada pela consultoria *Greener* com milhares de empresas de instalação de energia solar. O levantamento foi realizado entre novembro de 2022 e janeiro de 2023. (Greener, 2023)

Conforme o estudo, os preços médios dos kits em janeiro de 2023 apresentaram redução média de 21% em relação a janeiro de 2022. Os sistemas de energia solar residencial e comercial acumulam redução de 50% e 46%, respectivamente, desde 2016. (Greener, 2023)

Os valores estão na tabela 3.2:

Tabela 3.2 – Valores referentes aos custos médios de instalação dos sistemas de geração fotovoltaicos por kWp.

| <b>Potência</b> | <b>Preço médio de instalação</b> |
|-----------------|----------------------------------|
| 2 kWp           | R\$ 10.840,00                    |
| 4 kWp           | R\$ 17.560,00                    |
| 8 kWp           | R\$ 31.360,00                    |
| 12 kWp          | R\$ 44.040,00                    |
| 30 kWp          | R\$ 100,80,00                    |
| 50 kWp          | R\$ 186.500,00                   |
| 75 kWp          | R\$ 288.000,00                   |
| 150 kWp         | R\$ 531.000,00                   |
| 300 kWp         | R\$ 1.041.000,00                 |
| 500 kWp         | R\$ 1.780.000,00                 |
| 1 MWp           | R\$ 3.710.000,00                 |
| 3 MWp           | R\$ 10.740.000,00                |
| 5 MWp           | R\$ 18.250.000,00                |

Fonte: Adaptado de Greener, 2023.

Com esses dados obteve-se o valor médio de instalação para cada kWp, que neste caso ficou de R\$ 3.822,00.

Assim pode-se calcular o tamanho do sistema em questão e obter o valor do investimento médio, que pode ser verificado na tabela a seguir:

Tabela 3.3 – Valores do dimensionamento do sistema pelo consumo.

| <b>CASO</b> | <b>FATOR DE CORREÇÃO</b> | <b>DEMANDA CONTRATADA</b> | <b>GERAÇÃO NECESSÁRIA kWh/mês</b> | <b>POTÊNCIA kWp</b> | <b>CUSTO APROXIMADO</b> |
|-------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1           | 0,64                     | 260                       | 71737,70                          | 568,26              | R\$ 2.171.907           |
| 2           | 0,64                     | 400                       | 36257,79                          | 287,21              | R\$ 1.097.729           |
| 3           | 0,64                     | 1000                      | 130518,30                         | 1.033,89            | R\$ 3.951.528           |
| 4           | 0,64                     | 1900                      | 592885,13                         | 4.696,49            | R\$ 17.949.992          |
| 5           | 0,64                     | 14000<br>14000            | 8539772,00                        | 67.647,12           | R\$ 258.547.280         |

|   |      |                |             |           |                 |
|---|------|----------------|-------------|-----------|-----------------|
| 6 | 0,64 | 22000<br>19500 | 12109355,57 | 95.923,29 | R\$ 366.618.798 |
|---|------|----------------|-------------|-----------|-----------------|

Fonte: Autor

Nos dados da tabela acima obteve-se os valores referentes à potência e ao custo do sistema para um cenário de compensação total de energia, pode-se observar que apenas no caso 2 não será necessário o aumento da demanda, nos demais casos haverá acréscimos no custo referentes à instalação de transformadores e no aumento da demanda junto à concessionária, que por sua vez deve realizar estudos de rede referente ao atendimento deste aumento de demanda.

Outro fator muito importante é a necessidade de outorga da ANEEL, para instalação de central geradora fotovoltaica acima de 5000kW.

Primeiramente será analisada a viabilidade econômica desses projetos, utilizando o VPL (Valor presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno), relação custo-benefício e o *Payback* simples.

De maneira análoga pode-se realizar o estudo para cada caso pela demanda contratada, pode-se observar os dados na tabela 3.4:

Tabela 3.4 – Valores relacionados ao dimensionamento do sistema pela demanda contratada.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | CAPACIDADE DE GERAÇÃO kWh/mês | kWp   | CUSTO DO SISTEMA  |
|------|-------------------|--------------------|-------------------------------|-------|-------------------|
| 1    | 0,64              | 260                | 32822,40                      | 260   | R\$ 917.280,00    |
| 2    | 0,64              | 400                | 50496,00                      | 400   | R\$ 1.411.200,00  |
| 3    | 0,64              | 1000               | 126240                        | 1000  | R\$ 3.528.000,00  |
| 4    | 0,64              | 1900               | 239856,00                     | 1900  | R\$ 6.703.200,00  |
| 5    | 0,64              | 14000<br>14000     | 1767360                       | 14000 | R\$ 49.392.000,00 |
| 6    | 0,64              | 22000<br>19500     | 2777280                       | 22000 | R\$ 77.616.000,00 |

Fonte: Autor

Dados para o dimensionamento pela demanda contratada pela unidade consumidora, contendo a capacidade de geração total e o custo de instalação para o sistema de geração de energia fotovoltaico.

### 3.2.1 Análise Econômica Para compensação Total de Energia

A partir dos valores relacionados à potência do sistema e custo de instalação pode-se utilizar ferramentas para realizar a análise de investimento, o que pode nos levar a viabilidade ou não de um projeto.

O valor presente líquido, é a fórmula econômico-financeira capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial.

Utilizando uma taxa de desconto de 8% ao ano, valor que segundo a fórmula do VPL seria relativo à depreciação do bem em questão e nos traz um valor corrigido, o tempo de análise utilizado é de 25 anos, tempo de garantia de desempenho dos módulos fotovoltaicos, que possuem de 10 a 15 anos de garantia contra defeitos de fabricação. (Greener, 2023)

Vale lembrar que os valores utilizados podem não representar a realidade em um dado momento devido à dinâmica de preços do mercado, que varia de acordo com disponibilidade, situação cambial, políticas econômicas, frete marítimo, entre outros fatores.

Obteve-se os seguintes dados da tabela 3.5 para o Caso 1:

Tabela 3.5 – Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 1.

| Caso | Tensão  | Grupo Tarifário | Período     | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD    | Valor da TE      | Valor Total da Fatura |
|------|---------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 1    | 13,8 kV | A4              | FPTA<br>PTA | 67889<br>6040     | 260                | R\$<br>25.112,62 | R\$<br>28.504,67 | R\$<br>53.617,29      |

Fonte: Autoria Própria

Dados obtidos na fatura de energia, utilizou-se as equações de cálculo do faturamento para o grupo A4 para cliente horo sazonal verde, obtendo-se o valor total da fatura.

Tabela 3.6 – Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 1.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | GERAÇÃO NECESSÁRIA kWh/mês | POTÊNCIA kWp | CUSTO APROXIMADO |
|------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------|------------------|
| 1    | 0,64              | 260                | 71737,70                   | 589,62       | R\$ 2.253.546,43 |

Fonte: Autor

Com um custo inicial de projeto de aproximadamente R\$ 2.253.546,43 apenas para implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica, haverá um custo adicional pela necessidade de aumento da demanda da unidade consumidora e utilizando a tarifa vigente obteve-se R\$ 113.918,37 esse custo seria anual, o que interfere no valor do retorno financeiro que inicialmente será de R\$ 342.056,04, descontado o valor do custo adicional que deverá ser pago pelo aumento da demanda o retorno anual é R\$ 228,137,67.

Com base nesses dados pode-se obter os valores referentes a análise financeira para este caso, pode-se visualizar na tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Valores calculados para o caso 1 referentes ao dimensionamento pelo consumo.

|                         |                |
|-------------------------|----------------|
| VPL                     | -R\$ 14.017,73 |
| TIR                     | 9%             |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | -1%            |
| PAYBACK SIMPLES         | 7,11           |
| TAXA DE DESCONTO        | 8,00%          |

Fonte: Autor

Como pode-se observar obtemos um VPL negativo, significa que não houve rendimentos, as despesas superaram as receitas, tornando o investimento inviável economicamente.

Com base na TIR também pode-se analisar que a taxa de retorno para esse caso foi muito baixa e a relação custo-benefício ficou negativa.

Para o caso 2 obteve-se os dados da tabela 3.8:

Tabela 3.8 – Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 2.

| Caso | Tensão  | Grupo Tarifário | Período     | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD    | Valor da TE      | Valor total da fatura |
|------|---------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 2    | 13,8 kV | A4              | FPTA<br>PTA | 32757<br>5494     | 400                | R\$<br>23.887,59 | R\$<br>15.245,29 | R\$<br>39.132,89      |

Fonte: Autor

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento

para o grupo A4 para cliente horo sazonal verde, obtendo o valor total da fatura.

Tabela 3.9 – Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 2.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | GERAÇÃO NECESSÁRIA kWh/mês | POTÊNCIA kWp | CUSTO APROXIMADO |
|------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------|------------------|
| 2    | 0,64              | 400                | 36257,79                   | 298,01       | R\$ 1.138.991,16 |

Fonte: Autor

Com um custo inicial de projeto de aproximadamente R\$ 1.138.991,16 apenas para implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica, neste caso não haverá necessidade do aumento de demanda, no entanto o retorno anual é R\$ 182,943,48.

Neste caso não será necessário o aumento da demanda contratada, no entanto todo o valor referente ao consumo será utilizado como retorno financeiro.

Tabela 3.10 – Valores calculados para o caso 2 referentes ao dimensionamento pelo consumo.

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| VPL                     | R\$ 1.044.507,32 |
| TIR                     | 20%              |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 95%              |
| PAYBACK SIMPLES         | 6,84             |
| TAXA DE DESCONTO        | 8,00%            |

Fonte: Autor

Este caso chama atenção devido ao baixo consumo médio nos últimos 12 meses pelo valor da demanda contratada, talvez a unidade consumidora esteja passando por reformas ou algo do gênero, podendo até ser realizado um estudo referente à demanda.

Neste caso o VPL ficou positivo, ou seja, significa que houve rendimento, as receitas superaram as despesas, tornando o investimento viável economicamente, tendo uma TIR de 20% e uma ótima relação custo-benefício, com um *payback* atrativo de menos de 7 anos.

Para o caso 3 obteve-se os dados da tabela 3.11:

Tabela 3.11 – Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 3.

| Caso | Tensão | Grupo tarifário | Período     | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD    | Valor da TE      | Valor Total da Fatura |
|------|--------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 3    | 34 kV  | A3A             | FPTA<br>PTA | 124001<br>10228   | 1000               | R\$<br>30.987,34 | R\$<br>21.582,60 | R\$<br>52.569,94      |

Fonte: Autor

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento para o grupo A3A para cliente horo sazonal verde, obtendo o valor total da fatura.

Tabela 3.12 – Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 3.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | GERAÇÃO NECESSÁRIA kWh/mês | POTÊNCIA kWp | CUSTO APROXIMADO |
|------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------|------------------|
| 3    | 0,64              | 1000               | 130518,30                  | 1.072,75     | R\$ 4.100.062,50 |

Fonte: Autor

Com um custo inicial de projeto de aproximadamente R\$ 4.100.062,50 apenas para implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica, haverá um custo adicional pela necessidade de aumento da demanda da unidade consumidora e utilizando a tarifa vigente obteve-se R\$ 25.143,48 esse custo seria anual, o que interfere no valor do retorno financeiro que inicialmente será de R\$ 258.991,20, descontando o valor do custo adicional que deverá ser pago pelo aumento da demanda o retorno anual é R\$ 233,847,72.

Com base nesses dados pode-se obter os valores referentes a análise financeira para este caso na tabela 3.13.

Tabela 3.13 – Valores calculados para o caso 3 referentes ao dimensionamento pelo consumo.

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| VPL                     | -R\$ 1.655.576,66 |
| TIR                     | 3%                |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | -42%              |
| PAYBACK SIMPLES         | 6,84              |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%                |

Fonte: Autor

Novamente um VPL negativo, com uma TIR baixíssima e uma relação de custo-benefício negativa, o que faz com que a viabilidade econômica do projeto não exista.

Para caso 4 obteve-se os dados da tabela 3.14:

Tabela 3.14 – Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 4.

| Caso | Tensão | Grupo tarifário | Período | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD | Valor da TE | Valor Total da Fatura |
|------|--------|-----------------|---------|-------------------|--------------------|---------------|-------------|-----------------------|
| 4    | 34 kV  | A3A             | FPTA    | 556982            | 1900               | R\$           | R\$         | R\$                   |
|      |        |                 | PTA     | 56345             |                    | 154.768,72    | 237.787,56  | 392.556,27            |

Fonte: Autor

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento para o grupo A3A para cliente horo sazonal verde, obtendo o valor total da fatura.

Tabela 3.15 – Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 4.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | GERAÇÃO NECESSÁRIA kWh/mês | POTÊNCIA kWp | CUSTO APROXIMADO  |
|------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------|-------------------|
| 4    | 0,64              | 1900               | 592885,13                  | 4.873,03     | R\$ 18.624.714,72 |

Fonte: Autor

Com um custo inicial de projeto de aproximadamente R\$ 18.624.714,72 apenas para implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica, haverá um custo adicional pela necessidade de aumento da demanda da unidade consumidora e utilizando a tarifa vigente obteve-se R\$ 1.027.478,63 esse custo seria anual, o que interfere no valor do retorno financeiro que inicialmente será de R\$ 2.853.450,72, descontando o valor do custo adicional que deverá ser pago pelo aumento da demanda o retorno anual é R\$ 1.825.972,09.

Com base nesses dados pode-se obter os valores referentes a análise financeira para este caso na tabela 3.16.

Tabela 3.16 – Valores calculados para o caso 4 referentes ao dimensionamento pelo consumo.

|                         |                |
|-------------------------|----------------|
| VPL                     | -R\$ 22.327,87 |
| TIR                     | 9%             |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 0%             |
| PAYBACK SIMPLES         | 6,84           |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%             |

Fonte: Autor

Como pode-se observar obtemos um VPL negativo, significa que não houve rendimentos, as despesas superaram as receitas, tornando o investimento inviável economicamente.

Com base na TIR, também pôde-se analisar que a taxa de retorno para esse caso foi muito baixa e a relação custo-benefício ficou negativa.

Para o caso 5 obteve-se os dados da tabela 3.17:

Tabela 3.17 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 5.

| Caso | Tensão | Grupo tarifário | Período | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD | Valor da TE  | Valor total da Fatura |
|------|--------|-----------------|---------|-------------------|--------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| 5    | 138 kV | A2              | FPTA    | 7978282           | 14000              | R\$           | R\$          | R\$                   |
|      |        |                 | PTA     | 881181            | 14000              | 1.473.325,01  | 3.431.129,77 | 4.904.454,78          |

Fonte: Autor

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento para o grupo A2 para cliente horo sazonal azul, obtendo o valor total da fatura.

Tabela 3.18 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 5.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | GERAÇÃO NECESSÁRIA kWh/mês | POTÊNCIA kWp | CUSTO APROXIMADO   |
|------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------|--------------------|
| 5    | 0,64              | 14000              | 8539772,00                 | 70.189,91    | R\$ 268.265.823,86 |
|      |                   | 14000              |                            |              |                    |

Fonte: Autor

Neste caso se trata de uma grande unidade consumidora com tensão de fornecimento de 138kV, com um custo inicial de projeto de aproximadamente R\$ 268.265.823,86 apenas para implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica, haverá um custo adicional pela necessidade de aumento da demanda da unidade consumidora e utilizando a tarifa vigente obteve-se R\$ 19.419.231,80 esse custo seria anual, o que interfere no valor do retorno financeiro que inicialmente será de R\$ 41.173.557,24, descontando o valor do custo adicional que deverá ser pago pelo aumento da demanda o retorno anual é R\$ 21.754.325,44.

Com base nesses dados pode-se obter os valores referentes a análise financeira para este caso na tabela 3.19.

Tabela 3.19 - Valores calculados para o caso 5 referentes ao dimensionamento pelo consumo.

|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| VPL                     | -R\$ 44.960.105,79 |
| TIR                     | 7%                 |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | -17%               |
| PAYBACK SIMPLES         | 6,88               |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%                 |

Fonte: Autor

Como pode-se observar obtemos um VPL negativo, significa que não houve rendimentos, as despesas superaram as receitas, tornando o investimento inviável economicamente.

Com base na TIR também pode-se analisar que a taxa de retorno para esse caso foi muito baixa e a relação custo-benefício ficou negativa.

Para o caso 6 obteve-se os dados da tabela 3.20:

Tabela 3.20 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 6.

| Caso | Tensão | Grupo tarifário | Período | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD | Valor da TE  | Valor total da fatura |
|------|--------|-----------------|---------|-------------------|--------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| 6    | 138 kV | A2              | FPTA    | 11371852          | 22000              | R\$           | R\$          | R\$                   |
|      |        |                 | PTA     | 1157410           | 19500              | 2.114.899,60  | 4.833.762,08 | 6.948.661,68          |

Fonte: Autor.

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento para o grupo A2 para cliente horo-sazonal azul, obtendo o valor total da fatura.

Tabela 3.21 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 6.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | GERAÇÃO NECESSÁRIA kWh/mês | POTÊNCIA kWp | CUSTO APROXIMADO   |
|------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------|--------------------|
| 6    | 0,64              | 22000              | 12109355,57                | 99.528,95    | R\$ 380.399.646,60 |
|      |                   | 19500              |                            |              |                    |

Fonte: Autor.

Neste caso, trata-se de uma grande unidade consumidora com tensão de fornecimento de 138kV, com um custo inicial de projeto de aproximadamente R\$ 380.399.646,60 apenas para implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica, haverá um custo adicional pela necessidade de aumento da demanda da unidade consumidora e utilizando a tarifa vigente obteve-se R\$ 26.794.005,09 esse custo seria anual, o que interfere no valor do retorno financeiro que inicialmente será de R\$ 41.173.557,24, descontando o valor do custo adicional que deverá ser pago pelo aumento da demanda o retorno anual é R\$ 31.211.139,87.

Com base nesses dados pode-se obter os valores referentes a análise financeira para este caso na tabela 3.22.

Tabela 3.22 - Valores calculados para o caso 6 referentes ao dimensionamento pelo consumo.

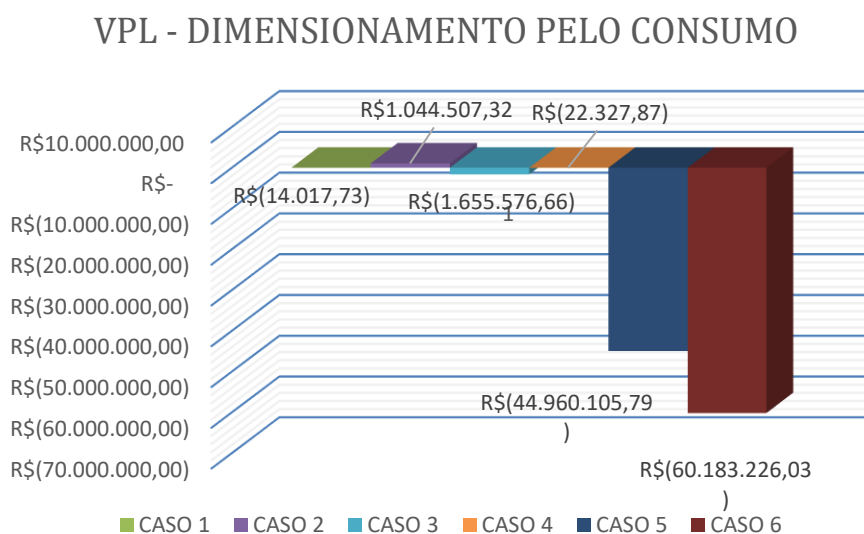
|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| VPL                     | -R\$ 60.183.226,03 |
| TIR                     | 7%                 |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | -16%               |
| PAYBACK simples         | 6,88               |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%                 |

Fonte: Autor.

Como pode-se observar em quase todos os casos, a viabilidade econômica dos projetos não se confirmou, exceto no caso 2, que como mencionado poderia ser efetuado um estudo de redução de demanda, nos demais casos há a necessidade de aumento da demanda contratada o que inclui um gasto adicional com essa demanda mensalmente, o que acaba reduzindo o retorno financeiro proveniente da economia na fatura de energia.

Pode-se observar no gráfico 3.1 a comparação de valores entre os casos analisados no dimensionamento pelo consumo.

Gráfico 3.1 Comparação do VPL para os casos analisados.



Fonte: Autor.

Vale ressaltar que não foi levado em consideração a área necessária para instalação do sistema de geração fotovoltaico, que por sua vez incidiria em custos adicionais no caso de o consumidor em questão não possuir espaço físico suficiente para instalação, havendo, com isso, a necessidade de compra e ou arrendamento de terras.

Outro ponto que não foi utilizado no cálculo da viabilidade econômica, foram os custos relacionados a necessidade de transformadores de potência para suprir o aumento da demanda,

e dos estudos e adequações nas subestações, o que diminuiria ainda mais os valores referentes ao retorno financeiro, estes parâmetros fazem parte da análise técnica, porém não foram necessários no momento, devido à análise econômica nos demonstra a inviabilidade de projeto nos casos 1, 3, 4, 5 e 6 somente com o aumento referente a demanda.

### 3.2.2 Análise Econômica Para Dimensionamento pela demanda contratada

A partir da análise feita, tendo um resultado econômico inviável, pode-se considerar outro cenário a partir dos valores de demanda contratada em cada caso, com o intuito de checar a viabilidade de projeto que por sua vez não irá suprir o consumo total da unidade consumidora, mas que por sua vez pode gerar um retorno financeiro.

Os parâmetros de projeto, foram os mesmos utilizados anteriormente para o dimensionamento do sistema de geração de energia fotovoltaico no caso de compensação total de energia, sendo efetuado o dimensionamento do sistema a partir de sua demanda contratada atual.

Os inversores *string* geralmente possuem garantias de 5 a 8 anos, podendo se estender por até 10 anos a depender do fabricante; e neste cenário, também será necessário descontar o valor referente à demanda maior que a unidade consumidora deverá contratar. (Greener, 2023)

Para o presente estudo utilizou-se um tempo de necessidade de troca dos inversores de 8 anos, o que deve impactar nos valores de retorno de investimento, estima-se que o valor dos inversores compõe de 8% a 15% do valor total de instalação do sistema, no entanto será adotado 12% como valor do custo de substituição deste componente.

Nestes casos pode-se efetuar duas análises referentes a viabilidade econômica, uma que leva em consideração que a unidade consumidora tenha espaço físico para a instalação do sistema de geração e a outra em que a unidade consumidora necessite adquirir a área para a instalação.

Para isso, foi necessário encontrar o valor referente ao hectare (valor que equivale a 10.000m<sup>2</sup>) de terra no estado do Paraná, segundo a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB), que possui um documento detalhado por classe de capacidade uso e por município, os valores referentes a cidade de Cascavel podem ser visualizados na tabela 3.23.

Tabela 3.23 – Valores do hectare de terra na cidade de Cascavel por classe de solo.

| Cascavel       | Classe   |
|----------------|----------|
| R\$ 168.900,00 | A - I    |
| R\$ 134.200,00 | A - II   |
| R\$ 105.000,00 | A - III  |
| R\$ 79.000,00  | A - IV   |
| R\$ 56.700,00  | B - VI   |
| R\$ 34.600,00  | B - VII  |
| R\$ 18.600,00  | C - VIII |
| R\$ 85.285,71  | Média    |

Fonte: Adaptado SEAB, 2023.

Outro parâmetro levado em consideração na análise é a garantia e a vida útil dos inversores

Para o caso 1 obteve-se os dados da tabela 3.24:

Tabela 3.24 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 1.

| Caso | Tensão  | Grupo Tarifário | Período     | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD    | Valor da TE      | Valor Total da Fatura |
|------|---------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 1    | 13,8 kV | A4              | FPTA<br>PTA | 67889<br>6040     | 260                | R\$<br>25.112,62 | R\$<br>28.504,67 | R\$<br>53.617,29      |

Fonte: Autor.

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento para o grupo A4 para cliente horo-sazonal verde, obtendo o valor total da fatura.

Tabela 3.25 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 1.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | CAPACIDADE DE GERAÇÃO kWh/mês | kWp | CUSTO SISTEMA     | NÚMERO DE PAINÉIS | ÁREA NECESSÁRIA (m²) |
|------|-------------------|--------------------|-------------------------------|-----|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1    | 0,64              | 260                | 32822,40                      | 260 | R\$<br>917.280,00 | 514,9             | 1.222,26             |

Fonte: Autor.

Dados referentes ao dimensionamento fotovoltaico, utilizando como base para o cálculo o valor da demanda contrata pela unidade consumidora, obtendo o valor do investimento e a área necessária para instalação do sistema de geração de energia.

Com base nesses dados, pode-se obter os valores referentes à análise financeira para este caso na tabela 3.26.

Tabela 3.26 - Valores calculados para o caso 1 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno.

|                         |                |
|-------------------------|----------------|
| VPL                     | R\$ 594.642,98 |
| TIR                     | 16%            |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 64%            |
| <i>PAYBACK</i> simples  | 6,39           |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%             |
| CUSTO ADICIONAL TERRENO | -R\$ 10.234,29 |

Fonte: Autor.

Dados do modelo econômico proposto com o valor da aquisição do terreno para instalação do sistema de geração de energia proposto.

Com base nesses dados, pode-se obter os valores referentes à análise financeira sem o custo da aquisição do terreno na tabela 3.27.

Tabela 3.27 - Valores calculados para o caso 1 referentes ao dimensionamento pela demanda.

|                         |                |
|-------------------------|----------------|
| VPL                     | R\$ 604.877,27 |
| TIR                     | 17%            |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 66%            |
| <i>PAYBACK</i> simples  | 6,32           |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%             |

Fonte: Autor.

Dados do modelo econômico proposto supondo que a unidade consumidora possua a área necessária disponível para instalação do sistema de geração de energia proposto.

Como pode-se observar o VPL mesmo com custo adicional para aquisição do espaço para instalação do sistema de geração ficou positivo, com uma boa TIR e um *Payback* de cerca de 6,5 anos, no entanto nesse caso não haverá custo adicional de demanda, logo não haverá necessidade de instalação de transformadores e adequações na subestação, pela análise o projeto é economicamente e tecnicamente viável.

Para o caso 2 obteve-se os dados da tabela 3.28:

Tabela 3.28 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 2.

| Caso | Tensão | Grupo Tarifário | Período | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD | Valor da TE | Valor total da fatura |
|------|--------|-----------------|---------|-------------------|--------------------|---------------|-------------|-----------------------|
|------|--------|-----------------|---------|-------------------|--------------------|---------------|-------------|-----------------------|

|   |         |    |             |               |     |                  |                  |                  |
|---|---------|----|-------------|---------------|-----|------------------|------------------|------------------|
| 2 | 13,8 kV | A4 | FPTA<br>PTA | 32757<br>5494 | 400 | R\$<br>23.887,59 | R\$<br>15.245,29 | R\$<br>39.132,89 |
|---|---------|----|-------------|---------------|-----|------------------|------------------|------------------|

Fonte: Autor.

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento para o grupo A4 para cliente horo-sazonal verde, obtendo o valor final da fatura.

Tabela 3.29 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 2.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | CAPACIDADE DE GERAÇÃO kWh/mês | kWp | CUSTO SISTEMA       | NÚMERO DE PAINÉIS | ÁREA NECESSÁRIA (m²) |
|------|-------------------|--------------------|-------------------------------|-----|---------------------|-------------------|----------------------|
| 2    | 0,64              | 400                | 50496,00                      | 400 | R\$<br>1.411.200,00 | 792,1             | 1.880,40             |

Fonte: Autor.

Dados referentes ao dimensionamento fotovoltaico, utilizando como base para o cálculo o valor da demanda contrata pela unidade consumidora, obtendo o valor do investimento e a área necessária para instalação do sistema de geração de energia.

Com base nesses dados, pode-se obter os valores referentes à análise financeira para este caso na tabela 3.30.

Tabela 3.30 - Valores calculados para o caso 2 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno.

|                         |                |
|-------------------------|----------------|
| VPL                     | R\$ 700.855,89 |
| TIR                     | 15%            |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 49%            |
| PAYBACK simples         | 6,39           |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%             |
| VALOR DO TERRENO        | -R\$ 16.204,29 |

Fonte: Autor.

Dados do modelo econômico proposto com o valor da aquisição do terreno para instalação do sistema de geração de energia proposto.

Com base nesses dados, pode-se obter os valores referentes à análise financeira sem o custo da aquisição do terreno na tabela 3.31.

Tabela 3.31 - Valores calculados para o caso 2 referentes ao dimensionamento pela demanda.

|     |                |
|-----|----------------|
| VPL | R\$ 717.060,18 |
|-----|----------------|

|                         |      |
|-------------------------|------|
| TIR                     | 15%  |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 51%  |
| PAYBACK simples         | 6,32 |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%   |

Fonte: Autor.

Dados do modelo econômico proposto supondo que a unidade consumidora possua a área necessária disponível para instalação do sistema de geração de energia proposto.

Como podemos observar o VPL mesmo com custo adicional para aquisição do espaço para instalação do sistema de geração ficou positivo, com uma boa TIR e um *Payback* de cerca de 6,5 anos, no entanto nesse caso não haverá custo adicional de demanda, logo não haverá necessidade de instalação de transformadores e adequações na subestação, pela análise o projeto é economicamente e tecnicamente viável.

Para o caso 3 temos os dados da tabela 3.32:

Tabela 3.32 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 3.

| Caso | Tensão | Grupo tarifário | Período     | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD    | Valor da TE      | Valor Total da Fatura |
|------|--------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 3    | 34 kV  | A3A             | FPTA<br>PTA | 124001<br>10228   | 1000               | R\$<br>30.987,34 | R\$<br>21.582,60 | R\$<br>52.569,94      |

Fonte: Autor.

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento para o grupo A3A para cliente horo-sazonal verde, obtendo o valor final da fatura.

Tabela 3.33 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 3.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | CAPACIDADE DE GERAÇÃO kWh/mês | kWp  | CUSTO SISTEMA       | NÚMERO DE PAINÉIS | ÁREA NECESSÁRIA (m²) |
|------|-------------------|--------------------|-------------------------------|------|---------------------|-------------------|----------------------|
| 3    | 0,64              | 1000               | 126240                        | 1000 | R\$<br>3.528.000,00 | 1980,2            | 4.700,99             |

Fonte: Autor.

Dados referentes ao dimensionamento fotovoltaico, utilizando como base para o cálculo o valor da demanda contrata pela unidade consumidora, obtendo o valor do investimento e a área necessária para instalação do sistema de geração de energia.

Com base nesses dados, pode-se obter os valores referentes à análise financeira para

este caso na tabela 3.34.

Tabela 3.34 - Valores calculados para o caso 3 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno.

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| VPL                     | R\$ 1.911.620,15 |
| TIR                     | 15%              |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 54%              |
| PAYBACK simples         | 6,39             |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%               |
| VALOR DO TERRENO        | -R\$ 40.084,29   |

Fonte: Autor.

Dados do modelo econômico proposto com o valor da aquisição do terreno para instalação do sistema de geração de energia proposto. Com base nesses dados pode-se obter os valores referentes a análise financeira sem o custo da aquisição do terreno na tabela 3.35.

Tabela 3.35 - Valores calculados para o caso 3 referentes ao dimensionamento pela demanda.

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| VPL                     | R\$ 1.951.704,43 |
| TIR                     | 15%              |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 55%              |
| PAYBACK simples         | 6,32             |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%               |

Fonte: Autor.

Dados do modelo econômico proposto supondo que a unidade consumidora possua a área necessária disponível para instalação do sistema de geração de energia proposto.

Como pode-se observar o VPL mesmo com custo adicional para aquisição do espaço para instalação do sistema de geração ficou positivo, com uma boa TIR e um *Payback* de cerca de 6,5 anos, no entanto, nesse caso, não haverá custo adicional de demanda, logo, não haverá necessidade de instalação de transformadores e adequações na subestação, pela análise o projeto é economicamente e tecnicamente viável.

Para o caso 4 obteve-se os dados da tabela 3.36:

Tabela 3.36 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 4.

| Caso | Tensão | Grupo tarifário | Período | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD | Valor da TE | Valor Total da Fatura |
|------|--------|-----------------|---------|-------------------|--------------------|---------------|-------------|-----------------------|
|------|--------|-----------------|---------|-------------------|--------------------|---------------|-------------|-----------------------|

|   |       |     |             |                 |      |                   |                   |                   |
|---|-------|-----|-------------|-----------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 4 | 34 kV | A3A | FPTA<br>PTA | 556982<br>56345 | 1900 | R\$<br>154.768,72 | R\$<br>237.787,56 | R\$<br>392.556,27 |
|---|-------|-----|-------------|-----------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|

Fonte: Autor.

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento para o grupo A3A para cliente horo-sazonal verde, obtendo o valor final da fatura.

Tabela 3.37 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 4.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | CAPACIDADE DE GERAÇÃO kWh/mês | kWp  | CUSTO SISTEMA       | NÚMERO DE PAINÉIS | ÁREA NECESSÁRIA (m²) |
|------|-------------------|--------------------|-------------------------------|------|---------------------|-------------------|----------------------|
| 4    | 0,64              | 1900               | 239856,00                     | 1900 | R\$<br>6.703.200,00 | 3762,4            | 8.931,88             |

Fonte: Autor.

Dados referentes ao dimensionamento fotovoltaico, utilizando como base para o cálculo o valor da demanda contrata pela unidade consumidora, obtendo o valor do investimento e a área necessária para instalação do sistema de geração de energia.

Com base nesses dados, pode-se obter os valores referentes à análise financeira para este caso na tabela 3.38.

Tabela 3.38 - Valores calculados para o caso 4 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno.

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| VPL                     | R\$ 3.632.468,45 |
| TIR                     | 15%              |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 54%              |
| PAYBACK simples         | 6,39             |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%               |
| VALOR DO TERRENO        | -R\$ 75.904,29   |

Fonte: Autor.

Dados do modelo econômico proposto com o valor da aquisição do terreno para instalação do sistema de geração de energia proposto. Com base nesses dados pode-se obter os valores referentes a análise financeira sem o custo da aquisição do terreno na tabela 3.39.

Tabela 3.39 - Valores calculados para o caso 4 referentes ao dimensionamento pela demanda.

|     |                  |
|-----|------------------|
| VPL | R\$ 3.708.372,73 |
| TIR | 15%              |

|                         |      |
|-------------------------|------|
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 55%  |
| PAYBACK simples         | 6,32 |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%   |

Fonte: Autor.

Dados do modelo econômico proposto supondo que a unidade consumidora possua a área necessária disponível para instalação do sistema de geração de energia proposto.

Como pode-se observar, o VPL mesmo com custo adicional para aquisição do espaço para instalação do sistema de geração ficou positivo, com uma boa TIR e um *Payback* de cerca de 6,5 anos, no entanto, nesse caso, não haverá custo adicional de demanda, logo, não haverá necessidade de instalação de transformadores e adequações na subestação, pela análise o projeto é economicamente e tecnicamente viável.

Para o caso 5 obteve-se os dados da tabela 3.40:

Tabela 3.40 - Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 5.

| Caso | Tensão | Grupo tarifário | Período | Média Consumo kWh | Demanda Contratada | Valor da TUSD | Valor da TE  | Valor total da Fatura |
|------|--------|-----------------|---------|-------------------|--------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| 5    | 138 kV | A2              | FPTA    | 7978282           | 14000              | R\$           | R\$          | R\$                   |
|      |        |                 | PTA     | 881181            | 14000              | 1.473.325,01  | 3.431.129,77 | 4.904.454,78          |

Fonte: Autor.

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento para o grupo A2 para cliente horo-sazonal azul, obtendo o valor final da fatura.

Tabela 3.41 - Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 5.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | CAPACIDADE DE GERAÇÃO kWh/mês | kWp   | CUSTO SISTEMA        | NÚMERO DE PAINÉIS | ÁREA NECESSÁRIA (m²) |
|------|-------------------|--------------------|-------------------------------|-------|----------------------|-------------------|----------------------|
| 5    | 0,64              | 14000              | 1767360                       | 14000 | R\$<br>49.392.000,00 | 27722,8           | 65.813,86            |

Fonte: Autor.

Dados referentes ao dimensionamento fotovoltaico, utilizando como base para o cálculo o valor da demanda contrata pela unidade consumidora, obtendo o valor do investimento e a área necessária para instalação do sistema de geração de energia.

Com base nesses dados, pode-se obter os valores referentes à análise financeira para este caso na tabela 3.42.

Tabela 3.42 - Valores calculados para o caso 5 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno.

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| VPL                     | R\$ 26.763.676,42 |
| TIR                     | 15%               |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 54%               |
| PAYBACK simples         | 6,42              |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%                |
| VALOR DO TERRENO        | -R\$ 561.180,00   |

Fonte: Autor.

Dados do modelo econômico proposto com o valor da aquisição do terreno para instalação do sistema de geração de energia proposto.

Com base nesses dados, pode-se obter os valores referentes à análise financeira sem o custo da aquisição do terreno na tabela 3.43.

Tabela 3.43 - Valores calculados para o caso 5 referentes ao dimensionamento pela demanda.

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| VPL                     | R\$ 27.324.856,42 |
| TIR                     | 15%               |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 55%               |
| PAYBACK simples         | 6,355             |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%                |

Fonte: Autor.

Dados baseados no modelo econômico representando graficamente o fluxo de caixa e o valor presente líquido, com os valores referentes a troca de inversores a cada 8 anos e a aquisição do espaço necessário para instalação do sistema de geração de energia proposto.

Neste caso pode-se identificar que se a unidade consumidora possuir o terreno necessário para instalação do sistema sua viabilidade econômica é atrativa, mas vale salientar que devido à demanda da unidade consumidora, ela deve solicitar outorga da concessionária e da ANEEL, que por sua vez irão analisar a instalação do sistema.

Para o caso 6 obteve-se os dados da tabela 3.44:

Tabela 3.44 – Valores referentes aos custos com energia da unidade consumidora para o caso 6.

| Caso | Tensão | Grupo tarifário | Período | Média Consumo | Demanda Contratada | Valor da TUSD | Valor da TE | Valor total da fatura |
|------|--------|-----------------|---------|---------------|--------------------|---------------|-------------|-----------------------|
|------|--------|-----------------|---------|---------------|--------------------|---------------|-------------|-----------------------|

kWh

|   |        |    |      |          |       |              |              |              |
|---|--------|----|------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|
| 6 | 138 kV | A2 | FPTA | 11371852 | 22000 | R\$          | R\$          | R\$          |
|   |        |    | PTA  | 1157410  | 19500 | 2.114.899,60 | 4.833.762,08 | 6.948.661,68 |

Fonte: Autor.

Dados obtidos na fatura de energia, utilizando as equações de cálculo do faturamento para o grupo A2 para cliente horo-sazonal azul, obtendo o valor final da fatura.

Tabela 3.45 – Valores utilizados para o dimensionamento do sistema e seus custos relacionados para o caso 6.

| CASO | FATOR DE CORREÇÃO | DEMANDA CONTRATADA | CAPACIDADE DE GERAÇÃO kWh/mês | kWp   | CUSTO SISTEMA     | NÚMERO DE PAINÉIS | ÁREA NECESSÁRIA (m²) |
|------|-------------------|--------------------|-------------------------------|-------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 6    | 0,64              | 22000              | 2777280                       | 22000 | R\$ 77.616.000,00 | 5499564,4         | 13.055.965,78        |

Fonte: Autor.

Dados referentes ao dimensionamento fotovoltaico, utilizando como base para o cálculo o valor da demanda contratada pela unidade consumidora, obtendo o valor do investimento e a área necessária para instalação do sistema de geração de energia.

Com base nesses dados pode-se obter os valores referentes a análise financeira para este caso na tabela 3.46.

Tabela 3.46 – Valores calculados para o caso 6 referentes ao dimensionamento pela demanda e o custo do terreno.

|                         |                     |
|-------------------------|---------------------|
| VPL                     | -R\$ 67.111.094,05  |
| TIR                     | 3%                  |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | -36%                |
| PAYBACK                 | 15,47               |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%                  |
| VALOR DO TERRENO        | -R\$ 111.349.028,57 |

Fonte: Autor.

Dados do modelo econômico proposto com o valor da aquisição do terreno para instalação do sistema de geração de energia proposto.

Com base nesses dados pode-se obter os valores referentes a análise financeira sem o custo da aquisição do terreno na tabela 3.47.

Tabela 3.47 – Valores calculados para o caso 6 referentes ao dimensionamento pela demanda.

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| VPL                     | R\$ 44.237.934,52 |
| TIR                     | 14%               |
| RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO | 57%               |
| PAYBACK                 | 6,35              |
| TAXA DE DESCONTO        | 8%                |

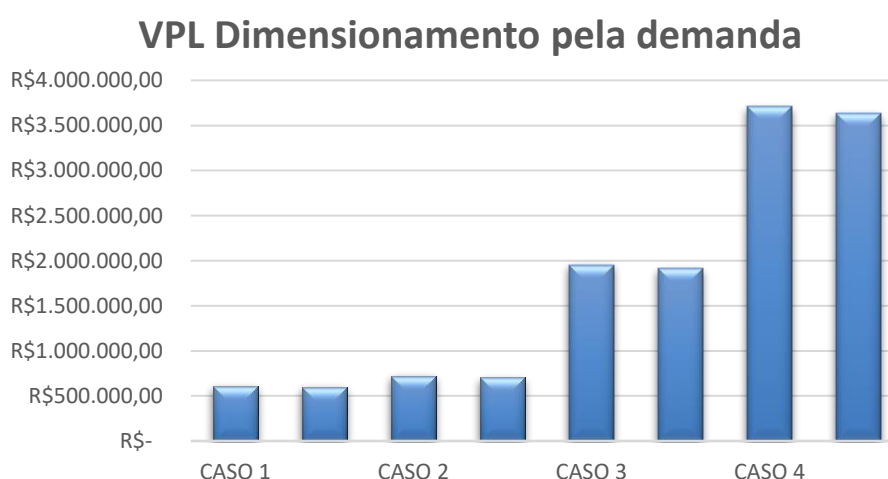
Fonte: Autor.

Neste caso, pode-se identificar que se a unidade consumidora possuir o terreno necessário para instalação do sistema sua viabilidade econômica é atrativa, mas vale salientar que devido a demanda da unidade consumidora, ela deve solicitar outorga da concessionária e da ANEEL, que por sua vez irão analisar a instalação do sistema.

Em relação ao VPL obtido no estudo dos casos propostos, com a aquisição do terreno para a instalação do sistema de geração de energia fotovoltaico, vemos uma diferença pequena em comparação com a unidade consumidora já possuir o espaço necessário.

No entanto, para os casos 1, 2, 3 e 4 existe viabilidade econômica para instalação do sistema de geração de energia fotovoltaico, sem necessidade de aumento de demanda, tendo um potencial de retorno financeiro atrativo, no gráfico 3.2 pode-se visualizar a comparação do VPL para cada caso.

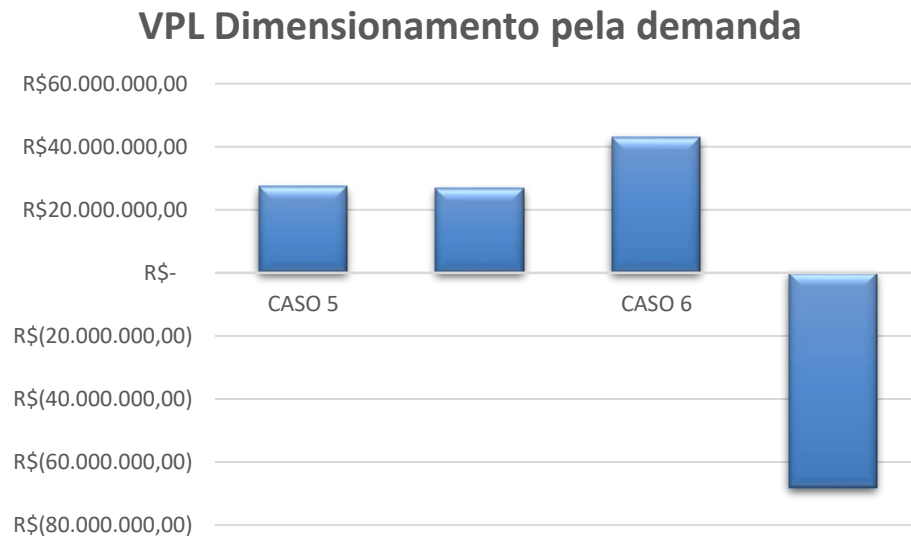
Gráfico 3.2 Relação do VPL para os casos 1, 2, 3 e 4.



Fonte: Autor.

Com a análise financeira obteve-se os valores referentes aos casos 5 e 6 que se pode visualizar no gráfico 3.3.

Gráfico 3.3 Relação do VPL para os casos 5 e 6



De maneira semelhante aos casos 1, 2, 3 e 4, o caso 5 mostrou viabilidade econômica atrativa, já para o caso 6 os valores referentes à aquisição do terreno acabaram inviabilizando a análise econômica.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises, podemos concluir que no cenário de consumidores do grupo A, a implantação de um sistema geração de energia fotovoltaico para compensação total do seu consumo ainda se encontra inviável.

Para todos os casos estudados, com demanda, consumo, e grupos tarifários distintos se mostrou inviável economicamente, o principal motivo da inviabilidade é a necessidade de aumento da demanda contratada pela unidade consumidora, o que traz um custo em relação a essa demanda maior, diminuindo assim o retorno financeiro inviabilizando o projeto.

Para um dimensionamento pela demanda encontramos viabilidade técnica e econômica para unidades consumidoras de pequeno e médio porte, o único ponto que acabou inviabilizando a análise econômica foi a necessidade de aquisição do terreno para instalação do sistema de geração de energia fotovoltaico no caso 6, no entanto se a unidade consumidora possuir espaço suficiente para a instalação existe viabilidade econômica.

No entanto, existe viabilidade para a implantação de sistemas de geração de energia fotovoltaico em empresas, porém não para compensação total de seu consumo de energia e sim efetuando um dimensionamento por sua demanda de energia.

Não houve diferenças consideráveis entre os tipos tarifários analisados, a demanda e o consumo interferem diretamente no tamanho em potência do sistema de geração de energia.

Acredita-se que com o avanço tecnológico e o crescimento do mercado de energia fotovoltaico, no futuro projetos para estas unidades consumidoras passem a ser viáveis, com placas e componentes com rendimentos maiores e com custos de instalação e de componentes mais atrativos.

## 5 REFERÊNCIAS

A. KHALIQ E O. C. ONAR, **ENERGY HARVESTING: Solar, Wind, and Ocean Energy Conversion Systems**, Boca Raton, EUA: CRC Press, 2009.

ABSOLAR. **Panorama do solar fotovoltaico no Brasil e no mundo**, 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 17 jan. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. PRODIST - Módulo 3. Por: SRD - publicado: 27/01/2016 13:54, última modificação: 02/06/2017 11:40. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/modulo-3>. Acesso em: 02/05/2021.

BROWN, G. F.; WU, J. **Third generation photovoltaics**. *Laser & Photonics Reviews*, New Jersey, v. 3, n. 4, p. 394-405, 2009

**Caderno Temático Micro e Minigeração Distribuída**, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL, 2016)

CEPEL & CRESESB, **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**, p.50, 2014.

CORREIA NETO, J.F. **Elaboração e Avaliação de Projetos de Investimento – Considerando o risco**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

ELETROBRAS PROCEL, **Manual de Tarificação da Energia Elétrica**, 1ª Edição, maio 2001.

ENERGIA, Simepe. **Por que a energia solar é uma fonte limpa e renovável?**. 2021. Disponível em: <https://simepeenergia.com.br/por-que-a-energia-solar-e-uma-fonte-limpa-e-renovavel/>. Acesso em: 21 set. 2023.

ENGENHARIA, Quantum. **História da energia solar fotovoltaica: Como a evolução tecnológica vem ampliando o acesso à essa fonte sustentável de energia**. 2020. Disponível em: <https://www.quantumengenharia.net.br/historia-da-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 21 set. 2023.

FILHO, João Mamede. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. LTC, 2017

FONSECA, Y. D. da; BRUNI, A. L. Técnicas de avaliação de investimentos: uma breve revisão da literatura.

GRÄTZEL, M. *Photoelectrochemical cells*. *Nature*, 2001, 414, 338.

GREENER, **Estudo Estratégico 1º Semestre 2023 – Geração Distribuída, Mercado Fotovoltaico**, setembro 2023.

HEIN, H. **Brasil ultrapassa 24 GW de capacidade em energia solar**. Canal Solar, 2023. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/brasil-ultrapassa-24-gw-de-capacidade-em-energiasolar>.

J. T. PINHO e M. A. GALDINO, “Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos,” CEPEL-CRESESB, Rio de Janeiro - RJ, 2014

JOÃO, PEDRO EDUARDO THOMAZ VIEIRALVES. **Análise técnico-econômica de uma minigeração fotovoltaica em um galpão logístico em contagem MG**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10016391.pdf>> , Acesso em novembro 2021

KASSAI, José Roberto; KASSAI, Silvia; SANTOS, Ariovaldo dos; ASSAF, Neto; FIPECAP, Alexandre. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

KEMERICH, P.D.C.; FLORES, C. E. B.; BORBA, W. F.; FRANÇA, J. R.; SILVEIRA, R. B.; LEVANDOSKI, N. D. **Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 20, 2016, p.241-247.

KOMP, R. J. **Practical photovoltaics: eletricity from solar cells**, 3a. ed., aatec publications: Ann Arbor, 2001

LODI, C. **Perspectivas para a geração de energia elétrica no Brasil utilizando a tecnologia solar térmica concentrada**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MARAN, STEPHEN P. **Astronomia, Sistema Solar, Planetas**. Alta Books, Copyright © 2004.

NEOSOLAR, Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>, Acesso em: 15/11/2023

NTC 905200, Norma Técnica Copel, fevereiro 2014, Revisão julho 2023.

PASSOS, F. L. L. **As tecnologias e eficiências das células fotovoltaicas**, 2016

PEREIRA, J, M, M, **Desenvolvimento de um processo de dopagem com ácido fosfórico para a obtenção de fitas de silício tipo n**, p.16, 2016.

PINTO, Milton de Oliveira. *Energia elétrica: geração, transmissão e sistemas interligados*. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

**Resolução Normativa nº 1000** AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL 2021).

**Resolução Normativa nº 1059** AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL 2023).

**Resolução Normativa nº 418** AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL 2010).

**Resolução Normativa nº 479** AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL 2012).

RICHARDS B. S. & SHALAV, A. "*Photovoltaic Devices*", em *The Handbook of Photonics*, 2 ed. Boca Raton, EUA: CRC Press, 2006.

RODRIGUES, R. **Energia solar supera eólica e se torna a segunda maior fonte da matriz brasileira**. Valor, 2023.

RÜTHER, R; NASCIMENTO, L. R; CAMPOS, R. A. **Extreme overirradiance events in Brazil: consequences on PV power plant output performance**, submitted to *Solar Energy*. *Solar Energy*, v. 186, p. 370-381, 2017

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.253-260, 2001

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. "**Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**". 1a Edição. Curitiba: INPE, 2017.