

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Gabriele Mozzaquatro Zimmer

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES URBANAS DE USO
COLETIVO**

Santa Maria, RS
2019

Gabriele Mozzaquatro Zimmer

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM
EDIFICAÇÕES URBANAS DE USO COLETIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica**.

ORIENTADOR: Prof. Diego Berlezi Ramos

Santa Maria, RS
2019

Gabriele Mozzaquatro Zimmer

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM
EDIFICAÇÕES URBANAS DE USO COLETIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica**.

Aprovado em 13 de dezembro de 2019:

Diego Berlezi Ramos, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Marcelo Back de Araujo, Eng. (UFSM)

Jéssica Vanessa Moraes, Eng. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família e especialmente a todos os meus amigos. Obrigada Vander Silva, pela amizade, paciência e auxílio no desenvolvimento da minha pesquisa, principalmente no que se diz ao uso do Homer. Obrigada Jéssica Vanessa, pelo apoio incondicional nos momentos em que eu mais precisei. Obrigada Marcelo Back, por estar presente como minha banca e pela amizade de todos esses anos. Por fim, gostaria de agradecer imensamente ao professor Fernando Guilherme Kaehler Guarda, por ter exercido uma função muito além da sua, por colocar seus alunos como prioridade e por ter prestado suporte a mim, independentemente das circunstâncias.

"For me, I am driven by two main philosophies: know more today about the world than I knew yesterday and lessen the suffering of others. You'd be surprised how far that gets you"

(Neil deGrasse Tyson)

RESUMO

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES URBANAS DE USO COLETIVO

AUTORA: Gabriele Mozzaquatro Zimmer

ORIENTADOR: Diego Berlezi Ramos

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através da Resolução Normativa Nº 482, flexibilizou a implementação da Geração Distribuída no país e, tendo em vista a localização e incidência de radiação solar no Brasil, os sistemas fotovoltaicos conseqüentemente apresentaram um destaque maior. O presente trabalho trata da implementação de um sistema fotovoltaico conectado a rede, projetado para suprir a demanda de energia de uma edificação de uso coletivo. A metodologia de estudo aplicada se baseia na simulação realizada através do software HOMER, levando em consideração a aplicação da tarifa Convencional como base de cálculo, bem como os equipamentos necessários para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico de energia elétrica.

Palavras-chave: Geração Distribuída. Energia Fotovoltaica. Fontes Renováveis. Homer

ABSTRACT

AUTHOR: Gabriele Mozzaquatro Zimmer
ADVISOR: Diego Berlezi Ramos

In 2012, the National Electric Energy Agency (ANEEL), through Normative Resolution No. 482, relaxed the implementation of Distributed Generation in the country and, considering the location and incidence of solar radiation in Brazil, photovoltaic systems consequently presented a biggest highlight. The present work deals with the implementation of a grid connected photovoltaic system, designed to supply the energy demand of a collective building. The applied study methodology is based on the simulation performed using the HOMER software, taking into consideration the application of the Conventional tariff as a calculation base, as well as the equipment necessary for the sizing of a photovoltaic electric power system.

Keywords: Distributed Generation. Photovoltaic Energy. Renewable Sources. Homer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Participação de cada fonte na geração distribuída em 2018	11
Figura 1.2 – Esquemático da conexão GD - Rede	12
Figura 1.3 – Potência Instalada Micro e Mini GD, por setor	13
Figura 2.1 – Ilustração de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica	15
Figura 2.2 – Painel Solar de Silício Monocristalino	16
Figura 2.3 – Painel Solar de Silício Policristalino	17
Figura 2.4 – Regulador de Carga Solar	18
Figura 2.5 – Inversor de Frquência	19
Figura 2.6 – Formação dos custos da energia elétrica no Brasil	20
Figura 3.1 – Fluxograma de etapas para a construção da metodologia	22
Figura 3.2 – Curva de carga anual para o condomínio	23
Figura 3.3 – Dados de carga inseridos no software HOMER	24
Figura 3.4 – Equipamentos utilizados no projeto	25
Figura 3.5 – Recurso solar para a região considerada	26
Figura 3.6 – Tarifa convencional aplicada no Homer	27
Figura 4.1 – Curva de carga diária - Ed. Treviso	28
Figura 4.2 – Alternativa 1 - Ed. Treviso	29
Figura 4.3 – Custos do sistema - Ed. Treviso	29
Figura 4.4 – Comparação 1 - Ed. Treviso	30
Figura 4.5 – Análise de Sensibilidade 1 (Alternativa 2) - Ed. Treviso	31
Figura 4.6 – Comparação 2 (Alternativa 2) - Ed. Treviso	31
Figura 4.7 – Análise de Sensibilidade 2 (Alternativa 3) - Ed. Treviso	32
Figura 4.8 – Comparação 3 (Alternativa 3) - Ed. Treviso	32
Figura 4.9 – Produção de energia excedente anual	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Custos por equipamento	25
Tabela 3.2 – Tarifas aplicadas pela RGE SUL	26
Tabela 3.3 – Alíquotas dos tributos federais e ICMS	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>BEN</i>	Balanço Energético Nacional
<i>ANEEL</i>	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>
<i>MME</i>	<i>Ministério de Minas e Energia</i>
<i>GD</i>	<i>Geração Distribuída</i>
<i>EPE</i>	<i>Empresa de Pesquisa Energética</i>
<i>PRODEEM</i>	<i>Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios</i>
<i>GDFV</i>	<i>Geração Distribuída Fotovoltaica</i>
<i>PWM</i>	<i>Pulse Width Modulation</i>
<i>MPPT</i>	<i>Maximum Power Tracking</i>
<i>PIS</i>	<i>Programas de Integração Social</i>
<i>COFINS</i>	<i>Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social</i>
<i>ICMS</i>	<i>Imposto sobre a Circulação de Mercadoria e Serviços</i>
<i>TUSD</i>	<i>Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição</i>
<i>TE</i>	<i>Tarifa de Energia</i>
<i>CC</i>	<i>Corrente Contínua</i>
<i>CA</i>	<i>Corrente Alternada</i>

SUMÁRIO

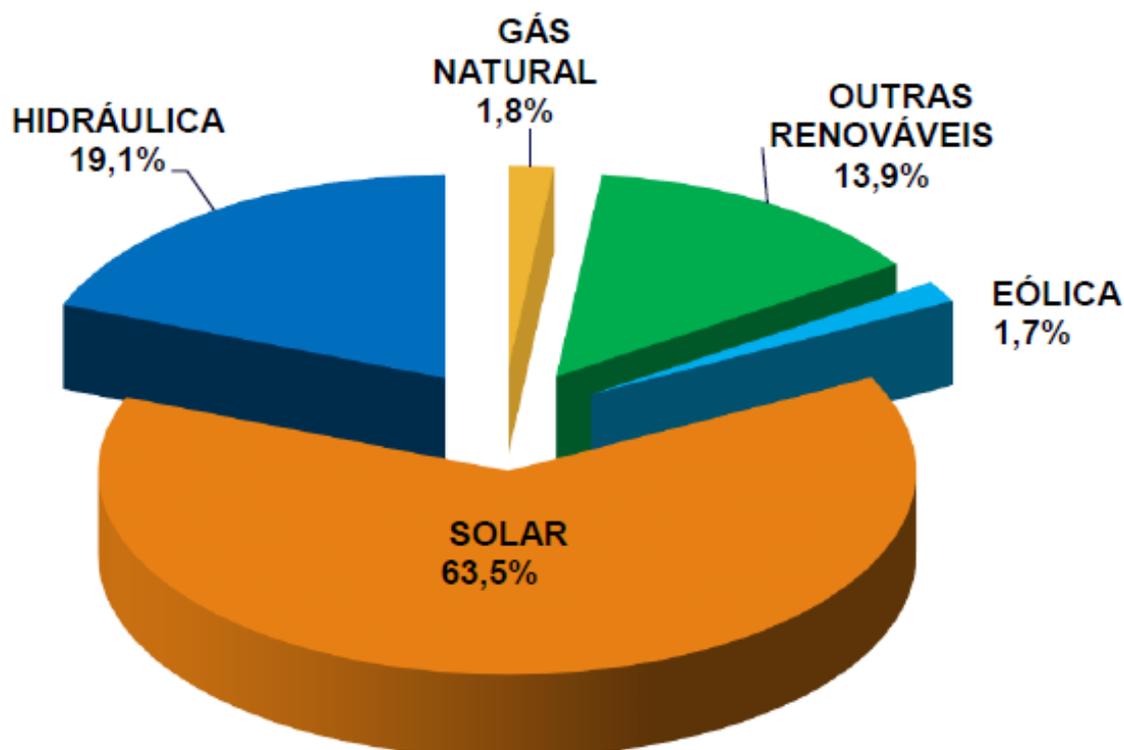
1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2	JUSTIFICATIVAS.....	12
1.3	OBJETIVOS PRINCIPAIS	13
1.4	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	ESTUDOS SOBRE ALIMENTAÇÃO DA ÁREA COMUM EM CONDOMÍNIOS	15
2.1.1	Energia Fotovoltaica	15
2.1.2	Consumo e Tarifas de Energia	19
2.2	AVALIAÇÃO DE RETORNO SOBRE INVESTIMENTO	20
2.2.1	Prazo de Retorno de Investimento	21
2.3	FERRAMENTAS DE ANÁLISE DISPONÍVEIS	21
3	METODOLOGIA	22
3.1	CONSTRUÇÃO E CARACTERÍSTICAS	22
3.2	METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO	23
3.3	APLICAÇÃO NAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	24
4	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	28
4.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	28
4.2	OBSERVAÇÕES FINAIS	32
5	CONCLUSÕES	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O setor elétrico nacional caracteriza-se pela grande participação de fontes renováveis. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN Relatório Final 2019), estima-se que aproximadamente 84% da oferta de energia elétrica no Brasil é proveniente de fontes renováveis, grande parte dela de origem hídrica. Em 2018, a geração distribuída teve um aumento total de 131%.

Figura 1.1 – Participação de cada fonte na geração distribuída em 2018



Fonte: (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2019)

A partir de 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e, inclusive, fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade. Dentre as inúmeras fontes de geração distribuída, o recurso solar aliado aos painéis fotovoltaicos vem tomando lugar e, conseqüentemente, ga-

nhando credibilidade e diminuindo seu custo gradativamente.

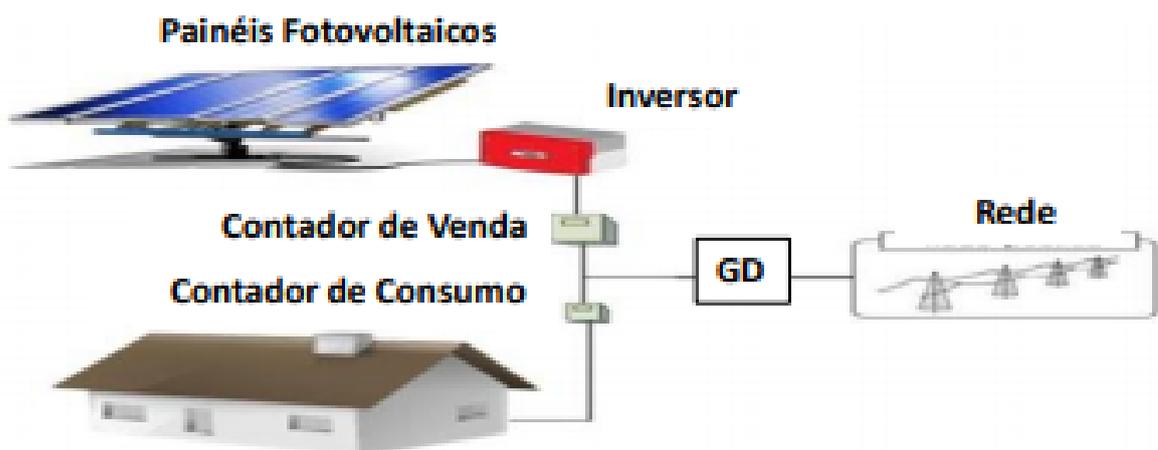
Levando em consideração a intertropicalidade do Brasil, a oferta de radiação solar é significativa durante todo o ano, variando mês a mês de acordo com a região. A partir disso, espera-se uma gradual inserção da geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos, de forma a abater parte da projeção de aumento no consumo energia elétrica no Brasil.

1.2 JUSTIFICATIVAS

O início da utilização de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia elétrica no país se deu em 1994, através do Programa de Desenvolvimento Energéticos de Estados e Municípios (PRODEEM), instituído pelo Governo Federal, no âmbito da Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia (MME). Segundo Pereira et al. (2019), o objetivo era atender várias comunidades isoladas, sem acesso a eletricidade, para bombeamento de água, iluminação pública e sistemas energéticos coletivos.

Em 2012, com a aprovação das normativas nº 482 e nº 517 as quais estabelecem condições gerais para a microgeração de energia elétrica, além do sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*), as vantagens econômicas envolvendo a energia solar passaram a ter muito peso, além dos benefícios ao meio ambiente.

Figura 1.2 – Esquemático da conexão GD - Rede



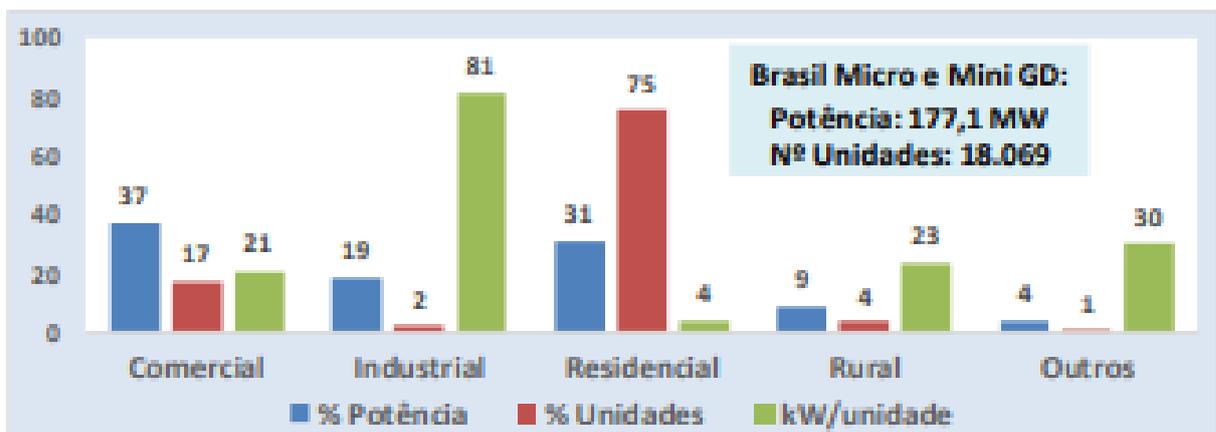
Fonte: (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016)

A energia excedente é cedida à distribuidora local, e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica dessa mesma unidade consumidora, ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade. O saldo positivo de um mês po-

derá ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário, ou na fatura do mês subsequente. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses. Há ainda a possibilidade do consumidor utilizar esses créditos em outra unidade, desde que as duas unidades consumidoras estejam na mesma área de concessão e sejam do mesmo titular. Todo esse processo não envolve circulação de dinheiro, apenas troca de kWh entre o consumidor e concessionária.

Os consumidores residenciais representam 75% do número total de usuários de micro e mini geração de energia elétrica. Diversos planos de incentivo incidem sobre esses consumidores, como a isenção do ICMS sobre a energia gerada. O tributo se aplica apenas sobre o excedente que ele consome da rede e para instalações inferiores a 1 MW.

Figura 1.3 – Potência Instalada Micro e Mini GD, por setor



Fonte: (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016)

A fonte de energia solar fotovoltaica traz inúmeros benefícios para o crescimento do país, tais como a redução dos gastos com energia elétrica proveniente de outras fontes, atração de investimentos no setor e, conseqüentemente, a geração de empregos. Nos últimos 12 meses, as empresas de engenharia e instalação que atuam no segmento de GDFV adicionaram aproximadamente 8 mil novos empregos ao País, um enorme feito na situação econômica atual (ABSOLAR, 2019).

1.3 OBJETIVOS PRINCIPAIS

O objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo de viabilidade econômica da instalação de painéis fotovoltaicos em um prédio residencial localizado na cidade de Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul. A instalação fotovoltaica objetiva suprir a demanda da área comum do edifício, ou seja, não inclui a

demanda individual de cada apartamento. A partir da área considerada para estudo, a análise financeira será feita utilizando ferramentas computacionais, como o software Homer.

1.4 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Os objetivos secundários serão direcionados ao levantamento do uso da Geração Distribuída como fonte alternativa de energia no Brasil, bem como seu crescimento nos últimos anos e mudanças ocorridas no setor energético de acordo com a ANEEL

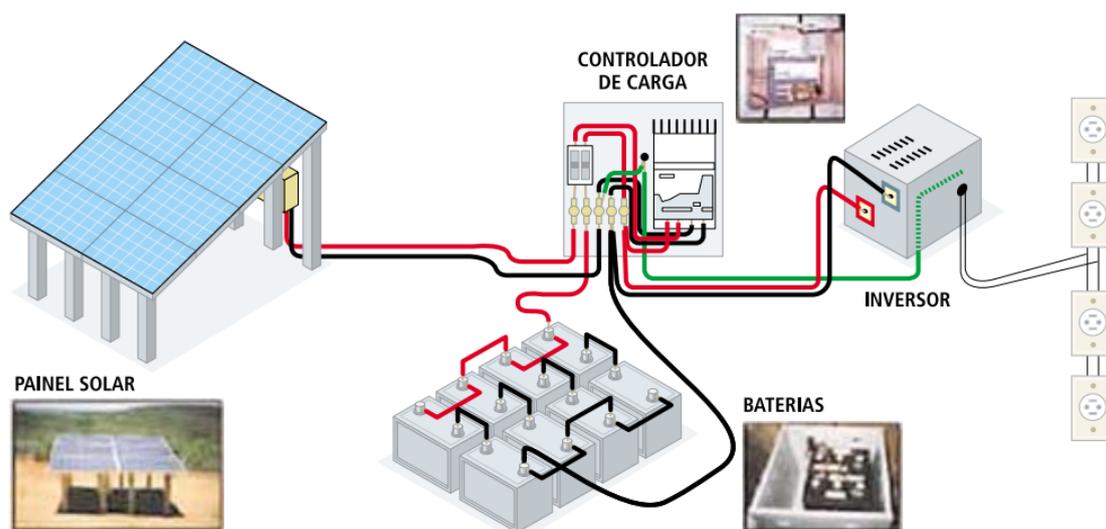
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTUDOS SOBRE ALIMENTAÇÃO DA ÁREA COMUM EM CONDOMÍNIOS

2.1.1 Energia Fotovoltaica

O Brasil é um país intertropical, ou seja, boa parte do território se encontra relativamente próxima a linha do equador, o que faz o país possuir imenso potencial de energia solar devido a radiação a qual está exposto. Um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica é composto por um conjunto de células fotovoltaicas, conectadas ao inversor e ao grupo de baterias pelo controlador de carga. A Figura 2.1 exemplifica essa conexão.

Figura 2.1 – Ilustração de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica



Fonte: (CRESESB, 2019), adaptado

Embora as regiões que concentram a maior parte das atividades socioeconômicas se encontrem no sul do país, é possível ajustar a posição dos painéis solares de acordo com a latitude local, visando maximizar o aproveitamento da radiação.

Os *painéis solares* são os principais componentes de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica e são formados por um conjunto de células capazes de gerar energia a partir da incidência da radiação solar. Existem diversos tipos de células fotovoltaicas e, a maioria delas, é baseada em alguma variação de silício (Si).

1. Painel Solar de Silício Monocristalino

Os painéis solares de silício monocristalino são os que possuem a maior eficiência, feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro. A eficiência média de cada painel solar varia entre 15 e 22%, apresentados nas cores azul escuro (com antirreflexo) e cinza ou azul acizentado (sem antirreflexo).

Figura 2.2 – Painel Solar de Silício Monocristalino



Fonte: (PORTAL SOLAR, 2019a)

Dentre as principais vantagens dos painéis de silício monocristalino, destaca-se a área demandada reduzida devido a eficiência dos painéis ser maior. A vida útil de cada célula gira em torno de 30 anos.

2. Painel Solar de Silício Policristalino

Os painéis solares de silício policristalino se diferenciam dos monocristalinos pela forma como os cristais são fundidos. No policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, desta forma preservando a formação de múltiplos

cristais. Quando este bloco é cortado e fatiado, é possível observar a formação múltipla de cristais (PORTAL SOLAR, 2019b). A eficiência desses painéis varia entre 14 e 20%, nas cores azul (com antirreflexo) e cinza prateado (sem antirreflexo).

Figura 2.3 – Painel Solar de Silício Policristalino



Fonte: (PORTAL SOLAR, 2019b)

Esse tipo de painel costuma ser mais barato em comparação ao monocristalino, possuindo o mesmo período de vida útil.

Além dos painéis mono e policristalinos, existem outros tipos de células, tais como painéis de filme fino, silício amorfo, telureto de cádmio, seleneto de cobre, índio e gálio, entre outros.

O *controlador de carga* é um dos principais componentes de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica, pois é o responsável pela duração da vida útil dos bancos de baterias. O regulador evita que a bateria seja sobrecarregada ou

descarregada a um ponto de esgotamento, garantindo uma transferência de energia de forma eficaz e segura.

Figura 2.4 – Regulador de Carga Solar



Fonte: (MppSolar, 2019)

Existem dois tipos de controladores de carga para um sistema *Off-Grid*, são eles:

- Controlador de Carga PWM
- Controlador de Carga MPPT

Com os controladores de carga PWM (*Pulse Width Modulation*), a célula fotovoltaica não alimenta a bateria a partir de seu ponto de máxima potência, fato que ocasiona perda de energia no sistema. Em contrapartida, a utilização de controladores de carga MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) buscam o ponto de máxima potência da célula, o que pode resultar em um ganho de eficiência no sistema.

O *inversor solar* é o equipamento responsável por converter a energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Além disso, o inversor também garante a segurança do sistema e gera dados da geração de energia para que o consumidor possa monitorar o desempenho de seu sistema.

Figura 2.5 – Inversor de Frquência



Fonte: Fronius

Dentre os tipos de inversores disponíveis, o inversor *Grid-Tie* é o mais utilizado. A potência do inversor necessária depende da potência total do sistema fotovoltaico, ou seja, se a potência do sistema for de 5kW, o inversor também terá uma potência de 5kW.

2.1.2 Consumo e Tarifas de Energia

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu em 4,6% em fevereiro, em comparação ao mesmo período do ano passado. O setor residencial foi o que apresentou a maior parcela de aumento no consumo total do país (9,2%), devido as altas temperaturas registradas nos centros urbanos.

De acordo com a CPFL (2019), entre 18 e 21 horas, o consumo de energia elétrica é muito mais alto do que nos outros horários. Isso porque estão funcionando

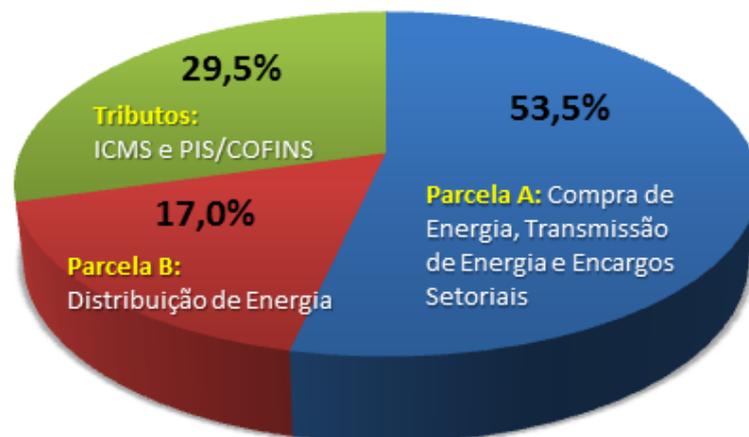
ao mesmo tempo, além das fábricas, a iluminação pública, a iluminação residencial, vários eletrodomésticos e a maioria dos chuveiros. Este é o chamado horário de pico (horário de ponta) de consumo de energia elétrica.

Segundo a ANEEL (2019), a Tarifa de Energia Elétrica no Brasil é calculada considerando variados fatores, como a infraestrutura de geração, transmissão e distribuição, bem como fatores econômicos de incentivos à modicidade tarifária e sinalização ao mercado. As unidades consumidoras atendidas em tensão abaixo de 2.300 volts são classificadas no Grupo B (baixa tensão). Em geral, estão nesta classe as residências, lojas, agências bancárias, pequenas oficinas, edifícios residenciais, grande parte dos edifícios comerciais e a maioria dos prédios públicos federais, uma vez que, na sua maioria são atendidos nas tensões de 127 ou 220 volts. Neste estudo, será considerada a modalidade tarifária Convencional.

A tarifa de energia elétrica é composta por três custos: energia gerada, transporte de energia até as unidades consumidoras e encargos setoriais. Além da tarifa, existem os encargos PIS/COFINS, ICMS e a contribuição para a iluminação pública. A Figura 2.6 detalha essas parcelas.

Figura 2.6 – Formação dos custos da energia elétrica no Brasil

Valor Final da Energia Elétrica



Fonte: ANEEL

2.2 AVALIAÇÃO DE RETORNO SOBRE INVESTIMENTO

A avaliação de retorno sobre investimento é uma ferramenta utilizada para análise de investimentos e identifica retornos financeiros. Segundo BONA (2019), o ROI (*Return On Investment*) mostra, por meio de uma taxa de retorno, quanto um investidor

ganhou (ou perdeu) em relação ao valor aplicado em um determinado investimento, dando ao mesmo tempo uma análise sobre o que aconteceu e uma perspectiva sobre o futuro do mesmo.

O ROI é calculado subtraindo-se o ganho obtido no investimento pelo valor total investido e, em seguida, dividindo-se o resultado da subtração pelo valor total investido. Assim, tem-se:

$$ROI = \frac{Ganho - Investimento}{Investimento} \quad (2.1)$$

A unidade de medida do ROI não é específica, pois o cálculo é baseado em uma relação de dois valores. Multiplicando-se o resultado por 100, o ROI passa a ser dado em porcentagem.

2.2.1 Prazo de Retorno de Investimento

O PRI ou *Payback* mensura a atratividade de um negócio e calcula quanto tempo um investimento leva para dar retorno. Para calcular o *Payback*, todos os custos relacionados ao investimento devem ser considerados. Assim, estabelece-se o fluxo de caixa e o resultado médio do fluxo de caixa (considerado dentro de um certo período, como por ex. 12 meses).

A equação que define o cálculo do *Payback* simples é dada por:

$$Payback = \frac{Investimento_{inicial}}{Resultado_{medFC}} \quad (2.2)$$

2.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE DISPONÍVEIS

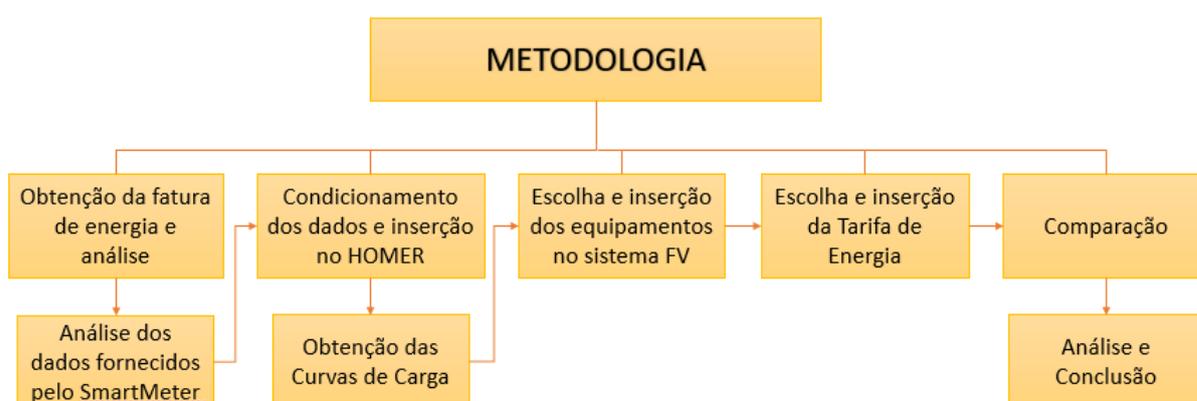
A análise de viabilidade econômica proposta foi feita utilizando o software *Homer*. O software *Homer* é um aplicativo desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL), mantido pelo United States Department of Energy, para simulação e otimização de sistemas de geração de energia de micro e pequeno porte baseados em recursos renováveis. O *Homer* é utilizado em uma grande quantidade de aplicações, como por exemplo em sistemas que utilizem recursos renováveis e diferentes combustíveis, que possuam diferentes dimensões, conectados a um sistema energético ou em operação independente e com diferentes combinações de dispositivos de armazenamento.

3 METODOLOGIA

3.1 CONSTRUÇÃO E CARACTERÍSTICAS

A metodologia seguida para a construção deste trabalho baseou-se na subdivisão e sequência de atividades dispostas na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Fluxograma de etapas para a construção da metodologia

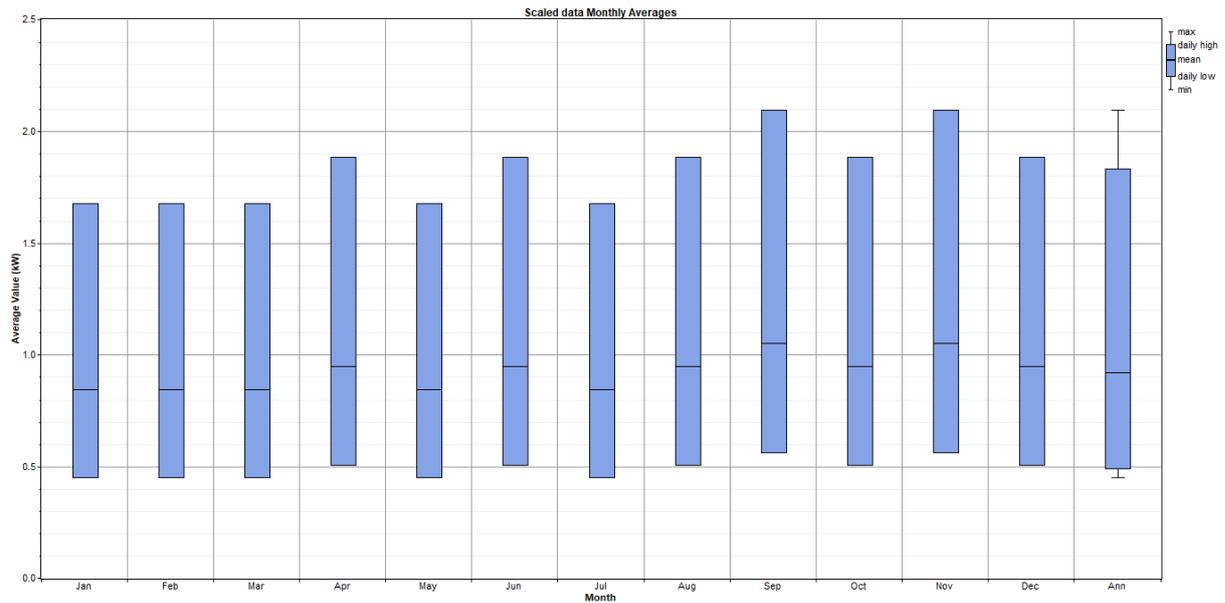


Fonte: Autor

Os dados necessários para o dimensionamento foram obtidos de duas formas principais: através da fatura de energia do prédio em análise e, posteriormente, da inserção de um medidor IMS no edifício. As informações obtidas através do medidor possibilitam que se saiba o consumo em cada uma das fases da instalação, separados nas 24h do dia.

O medidor gera uma tabela com informações de tensão, corrente e potência. Os dados são gerados em seis intervalos a cada hora, possibilitando precisão nas amostras. A partir desses dados, fez-se a acomodação dos valores de potência para cada mês do ano, discriminando-se as horas do dia dentro dos períodos de dias úteis e finais de semana.

Figura 3.2 – Curva de carga anual para o condomínio



Fonte: Autor - Homer

A figura acima mostra a curva de carga anual referente a energia elétrica consumida pelo serviço do edifício. Considerando os meses de maior consumo (setembro e novembro) como base para os demais, faz-se a distribuição equivalente dos consumos hora-a-hora para o restante dos meses do ano. Assim, foram condicionados os valores para inserção no software.

3.2 METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO

De acordo com Masters (2013), para que se possa calcular a área total de painéis necessários para suprir a instalação, faz-se necessário o cálculo de P_{ac} e P_{dc} , onde:

$$P_{ac} = \frac{Demanda/ano}{Insolacao(h/dia) \cdot 365dias} \quad (3.1)$$

$$P_{dc} = \frac{P_{ac}}{E_f} \quad (3.2)$$

Em que E_f é a eficiência de conversão que leva em conta os impactos da temperatura, inversor e sujeira no coletor. Após encontradas as potências P_{ac} e P_{dc} , é possível calcular a área de painéis fotovoltaicos necessária.

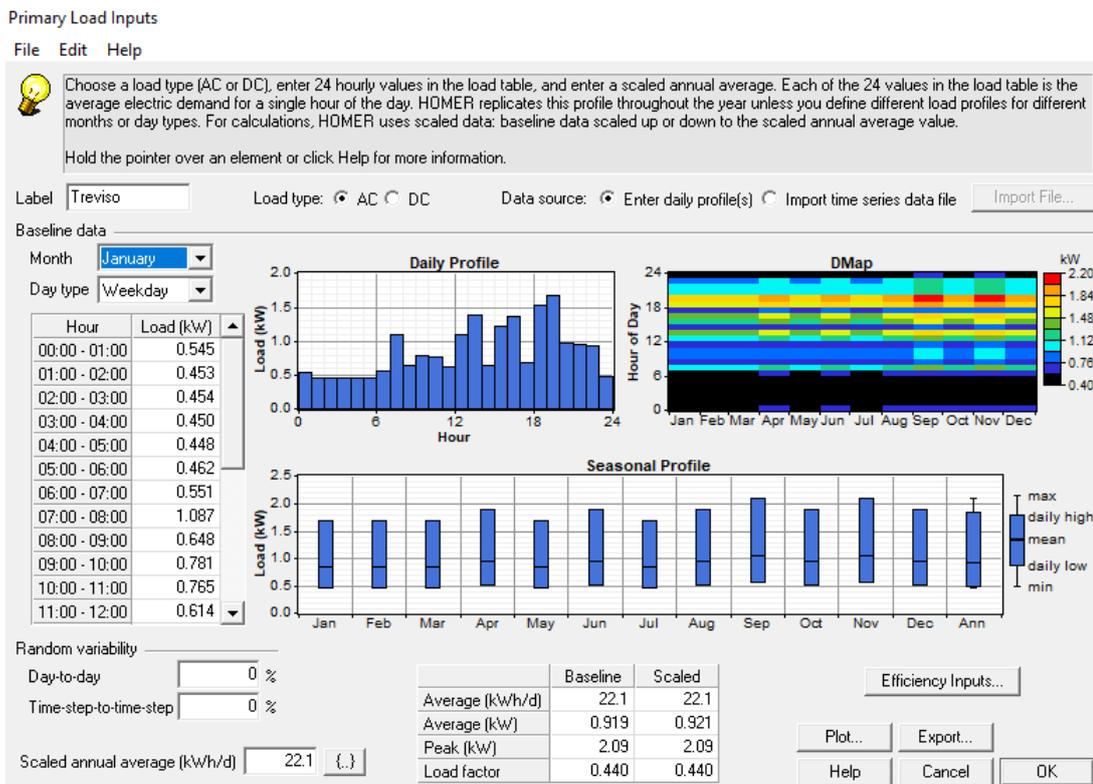
$$A = \frac{P_{dc}}{Incidencia(kW/m^2) \cdot E_{fc}} \quad (3.3)$$

Em que E_{fc} é a eficiência do coletor.

3.3 APLICAÇÃO NAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Com os dados de consumo do edifício já condicionados, insere-se os mesmos no Homer. Para fins de cálculo, foi considerado um consumo padrão hora-a-hora no condomínio, ou seja, tanto os dias úteis como não úteis possuem os mesmos dados de consumo. A Figura 3.3 dispõe os dados de carga do condomínio estudado.

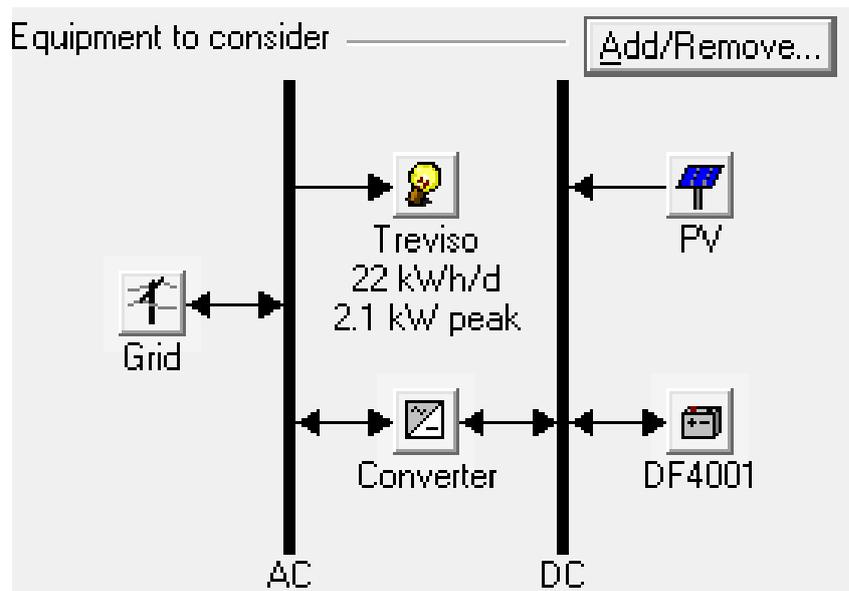
Figura 3.3 – Dados de carga inseridos no software HOMER



Fonte: Autor - Homer

Para o projeto, foi considerado o uso de painéis fotovoltaicos, conversores e banco de baterias, com o barramento ligado a rede (*On-Grid*).

Figura 3.4 – Equipamentos utilizados no projeto



Fonte: Autor - Homer

A Tabela 3.1 traz os custos com os equipamentos utilizados na simulação.

Tabela 3.1 – Custos por equipamento

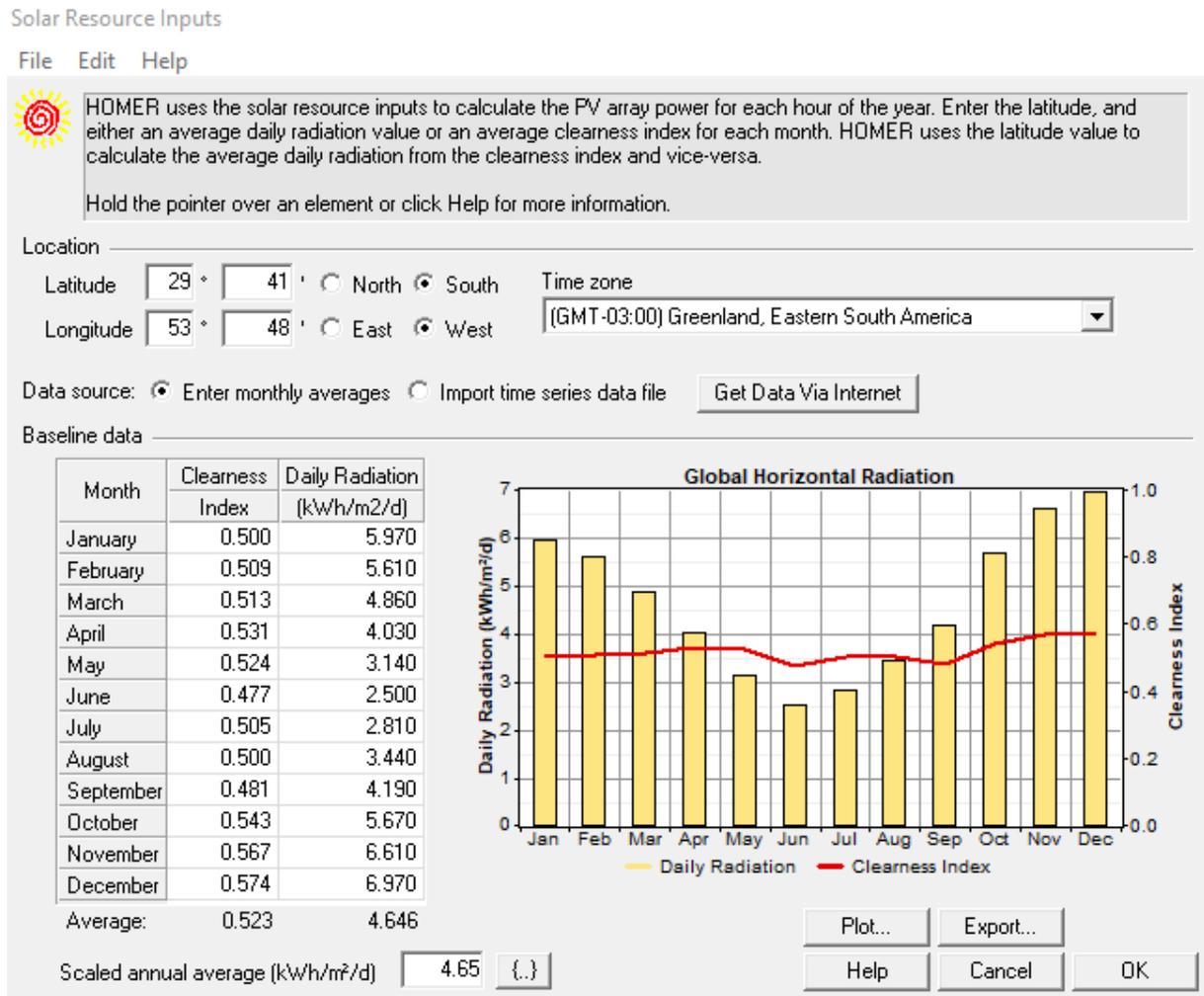
PV (R\$)	INVERSOR (R\$)	BATERIAS (R\$)
739	8.545	1.040

Fonte: Minha Casa Solar

O Homer busca os dados de insolação diários baseados na latitude e longitude do local e os dados são fornecidos pelo próprio software ao inserir-se o consumo na tabela de cargas. Assim, embora tenha sido feita uma aproximação baseada na fatura de energia do condomínio, é possível ter boa confiança nos valores pois a latitude e longitude encontradas pelo software estão de acordo com a latitude e longitude reais do edifício.

A Figura 3.5 mostra os valores de insolação anual gerados pelo Homer.

Figura 3.5 – Recurso solar para a região considerada



Fonte: Autor - Homer

O perfil é típico da região Sul do Brasil, com as quatro estações do ano bem definidas e caracterizado pelo baixo índice de radiação solar nos meses de Maio, Junho, Julho e Agosto e alto índice nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro.

A tarifa de energia Convencional é formada pelos componentes TUSD, TE, PIS/COFINS e ICMS. A TUSD e TE são estabelecidas pelas ANEEL, variando seus valores de acordo com cada concessionária de energia. As tarifas aplicadas pela RGE SUL, segundo o ranking das tarifas homologadas pela ANEEL, para o nível de tensão B1 da classe de consumo residencial estão dispostas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Tarifas aplicadas pela RGE SUL

TUSD (R\$/kWh)	TE (R\$/kWh)	TOTAL (R\$/kWh)
0.29026	0.27001	0.56027

As alíquotas do PIS, COFINS e ICMS para o estado do Rio Grande do Sul estão

dispostas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Alíquotas dos tributos federais e ICMS

PIS (%)	COFINS (%)	ICMS (%)
1,65	7.6	18

Assim, aplicando-se todos os tributos sobre a tarifa de energia de elétrica, o valor de cada kWh fecha em R\$ 0,71294. A Figura 3.6 mostra a inserção da tarifa convencional no software.

Figura 3.6 – Tarifa convencional aplicada no Homer

Grid Inputs

File Edit Help

Click Add to add as many rates as necessary. Select a rate and click on the diagram to indicate when each rate applies.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Rates | Emissions | Advanced | Forecasting

Scheduled rates
 Real time prices

Rate schedule

Step 1: Define and select a rate

Rate	Price (\$/kWh)	Sellback (\$/kWh)	Demand (\$/kW/mo)
Convencional	0.713	0.000	0.000

Add Remove Edit...

Step 2: Select a time period

All Week Weekdays Weekends

Step 3: Click on the chart to indicate when the selected rate applies.

Net metering
 Net purchases calculated monthly
 Net purchases calculated annually

Rate Schedule

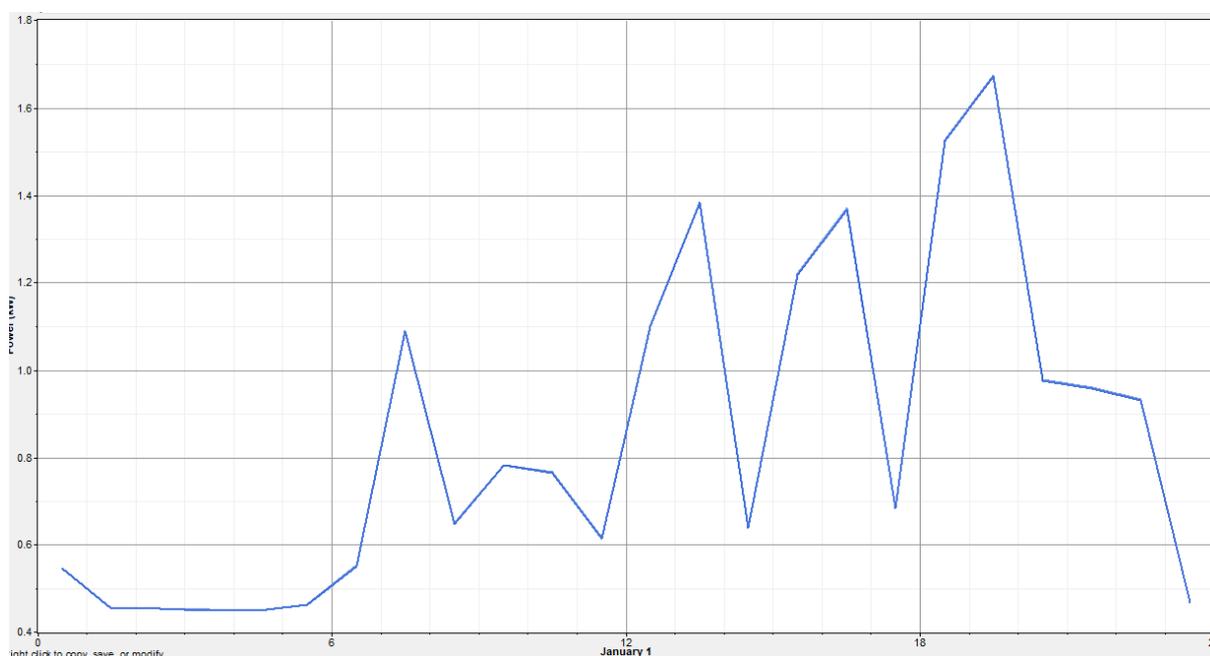
Fonte: Autor - Homer

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a inserção de todos os parâmetros necessários para o dimensionamento do projeto pelo *Homer*, obtém-se a curva de carga diária típica para o condomínio estudado, como ilustrado pela Figura 4.1.

Figura 4.1 – Curva de carga diária - Ed. Treviso



Fonte: Autor - Homer

A curva caracteriza o uso da energia elétrica pelo serviço do prédio. O serviço é composto principalmente pela iluminação dos corredores, garagem, hall e salão de festas, bem como pelo elevador. Os picos de consumo estão concentrados no início e fim dos horários comerciais de trabalho, durante o período que compreende as 7h da manhã, 13h da tarde e 19h da noite.

O cenário proposto inicialmente considera o investimento em PV de 335W cada, custando R\$ 739/painel e tarifa de energia a R\$ 0,713/kWh, em um horizonte de 20 anos. Assim, fez-se a simulação e foram encontrados 4 cenários principais. A Figura 4.2 mostra o resultado da simulação.

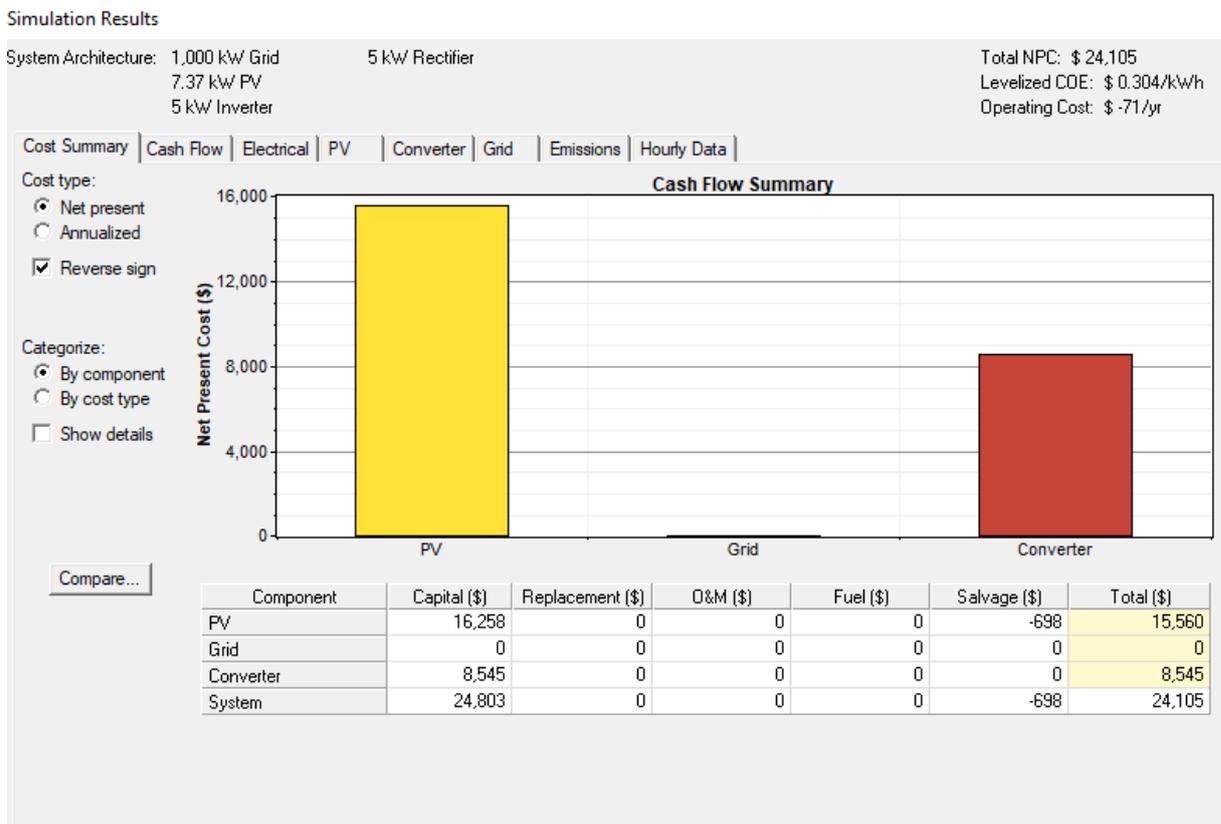
Figura 4.2 – Alternativa 1 - Ed. Treviso

Sensitivity Results		Optimization Results							
Sensitivity variables									
PV Capital Multiplier	1	PV NOCT (°C)	45						
		Conventional Power Price (\$/kWh)	0.713						
Double click on a system below for simulation results.									
	PV (kW)	DF4001	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	7.370		5.0	1000	\$ 24,803	-71	\$ 24,105	0.304	0.70
	7.370	1	5.0	1000	\$ 25,843	-29	\$ 25,562	0.323	0.70
			5.0	1000	\$ 0	5,751	\$ 56,468	0.713	0.00
		1	5.0	1000	\$ 9,585	5,794	\$ 66,470	0.839	0.00

Fonte: Autor - Homer

A primeira linha da tabela de resultados mostra a melhor alternativa encontrada pelo software. O cenário propõe uma instalação com 7,37kW em PV e 5kW de potência para o conversor, sem a utilização de baterias. O capital necessário é de R\$ 24,803, exemplificado na Figura 4.3

Figura 4.3 – Custos do sistema - Ed. Treviso

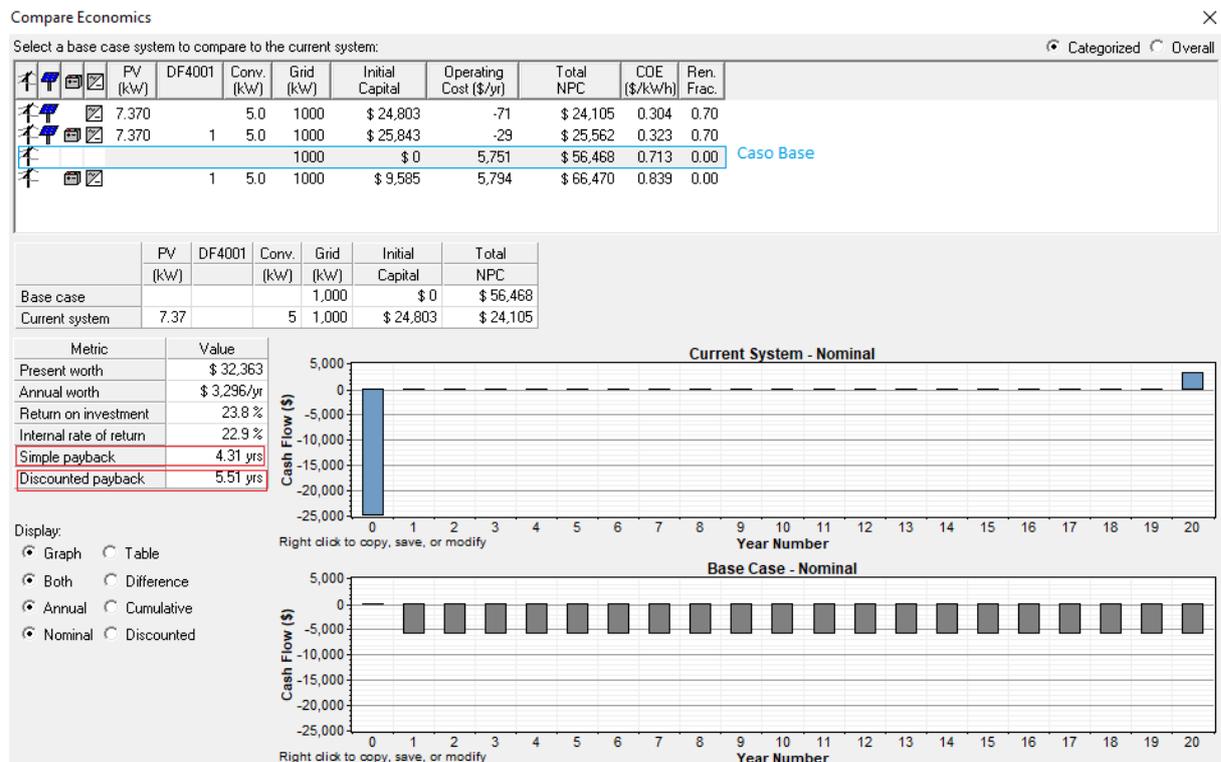


Fonte: Autor - Homer

O *Homer* fornece o fluxo de caixa detalhado para cada cenário, possibilitando

que seja feita a comparação de uma alternativa em relação a outra. A Figura 4.4 mostra a comparação feita entre o projeto encontrado na alternativa 1 e a utilização da rede da concessionária (caso base).

Figura 4.4 – Comparação 1 - Ed. Treviso

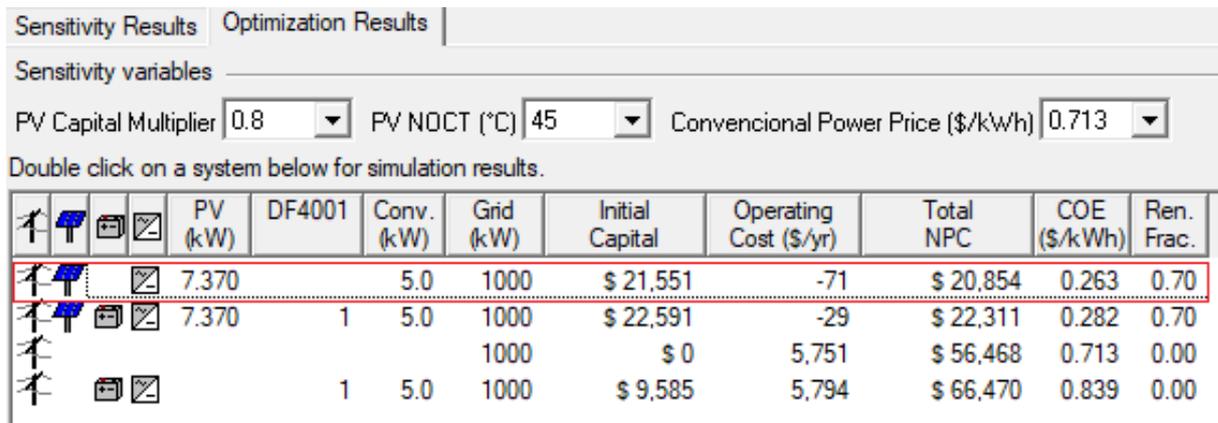


Fonte: Autor - Homer

Observa-se que o *Payback* simples para esse caso é de 4,31 anos e o descontado é de 5,51 anos. Tendo em vista o investimento de R\$ 24.803 para o projeto fotovoltaico, a cada ano será descontado um total de R\$ 5.721, referentes a energia elétrica que não será comprada da concessionária. Assim, a partir da metade do 5º ano, o retorno financeiro estará completo. Ao final do 20º ano, o fluxo de caixa descontado para o projeto fotovoltaico apresenta um valor de R\$ 32.363.

Considerando possíveis alterações nos preços dos PV, foi proposta uma análise de sensibilidade baseada nessa variação. A segunda alternativa de projeto leva em consideração a redução de 20% no investimento em painéis solares. Assim, tem-se o resultado da simulação disposto na figura 4.5.

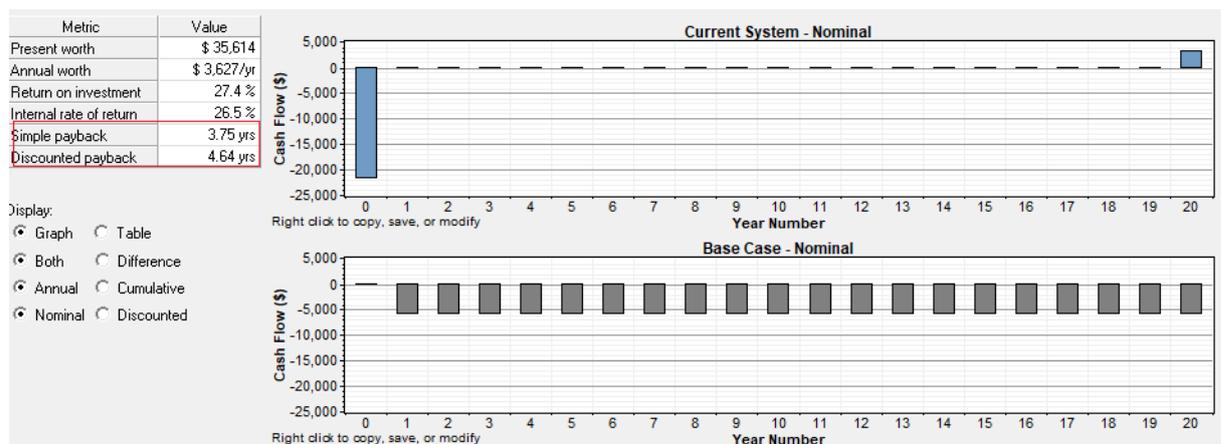
Figura 4.5 – Análise de Sensibilidade 1 (Alternativa 2) - Ed. Treviso



Fonte: Autor - Homer

O fluxo de caixa da alternativa 2 em comparação com o caso base está detalhado na figura 4.6

Figura 4.6 – Comparação 2 (Alternativa 2) - Ed. Treviso

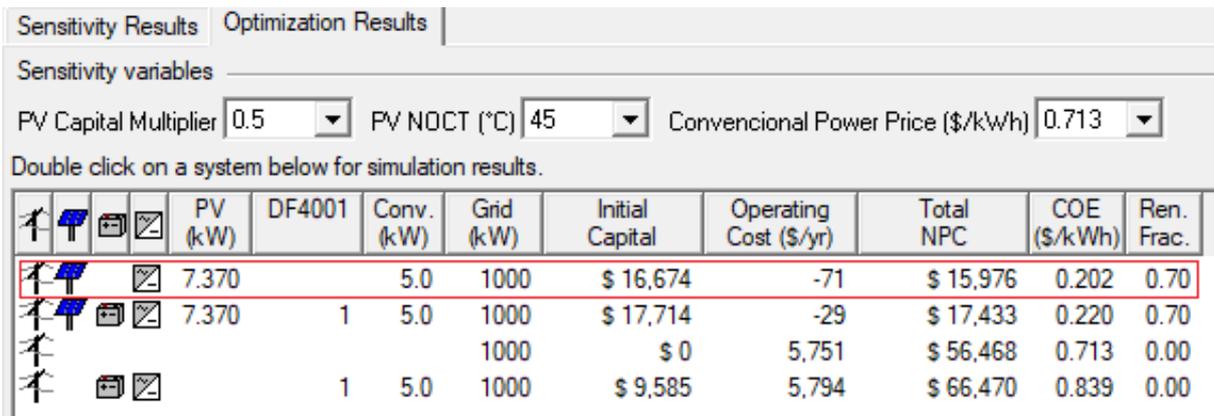


Fonte: Autor - Homer

Observa-se que o *Payback* simples e descontado são, respectivamente, de 3,75 e 4,64 anos.

A terceira alternativa proposta considera uma redução de 50% nos custos com PV. A figura 4.7 detalha o resultado da simulação.

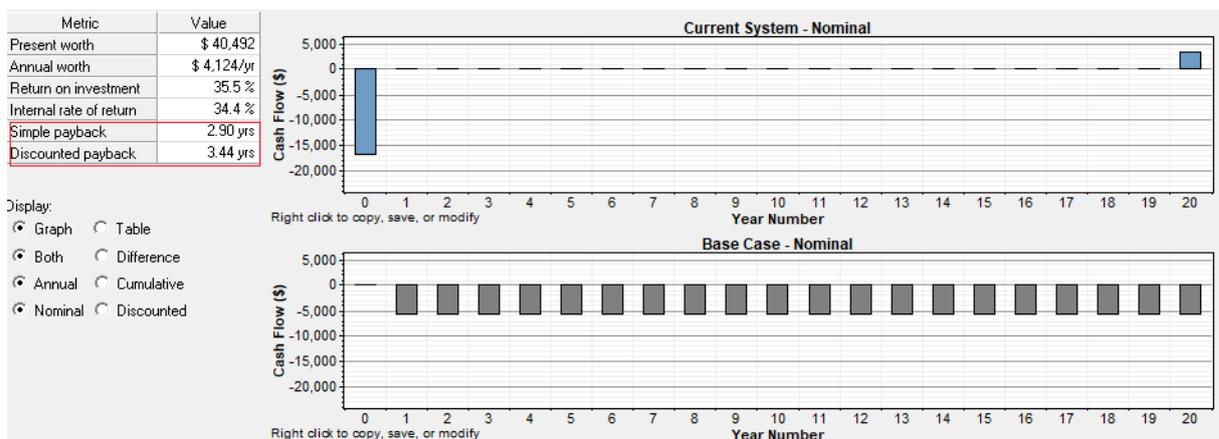
Figura 4.7 – Análise de Sensibilidade 2 (Alternativa 3) - Ed. Treviso



Fonte: Autor - Homer

O fluxo de caixa da alternativa 2 em comparação com o caso base está detalhado na figura 4.8.

Figura 4.8 – Comparação 3 (Alternativa 3) - Ed. Treviso



Fonte: Autor - Homer

Observa-se que o *Payback* simples e descontado são, respectivamente, de 2,9 e 3,44 anos.

4.2 OBSERVAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos e considerando o cenário atual, a Alternativa 1 atende melhor o propósito do projeto. A área total necessária para a instalação dos painéis solares é de 44,71 m², utilizando 23 painéis de 335W (1,96m x 0,992m). Quanto a energia excedente gerada pelo sistema, tem-se o detalhamento na figura 4.9.

Figura 4.9 – Produção de energia excedente anual

Quantity	kWh/yr	%
Excess electricity	328	2.17
Unmet electric load	0.00	0.00
Capacity shortage	0.00	0.00

Fonte: Autor - Homer

Os 328 kWh/ano são relativos a energia gerada que o sistema não consegue utilizar.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo de viabilidade econômica a fim de suprir a demanda do serviço de um edifício residencial, propondo a implementação de um sistema fotovoltaico conectado à rede. A tarifa Convencional foi considerada como base para simulação no software HOMER, bem como inversores, baterias e PV a preços comerciais.

Diferentes cenários foram propostos e a melhor alternativa encontrada, devido ao preço atual dos painéis solares, é a que apresenta o conjunto (PV + INVERSOR+ REDE), totalizando um investimento final de R\$ 24.803, com *Payback* dentro da expectativa. As demais alternativas dependem da flexibilização do mercado de painéis solares, constituindo um cenário promissor para o futuro.

A viabilidade da implantação de um sistema fotovoltaico está ligada diretamente aos custos com equipamentos e com o valor da tarifa de energia. Os incentivos por parte do governo como a isenção fiscal, facilidade de obtenção da tecnologia e financiamentos com taxas de juros mais baixas, corroboram para a expansão do mercado de energia solar no Brasil. Além disso, o recurso solar é alternativo ao uso da energia proveniente de usinas hidroelétricas, o que diminui a possibilidade de esgotamento dos recursos comumente utilizados.

Os investimentos em instalações residenciais fazem parte das práticas para estimular o uso eficiente da eletricidade, sendo o consumo de energia um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. **Os Guerreiros da Geração Distribuída Solar Fotovoltaica**. [S.l.]: ABSOLAR, 2019. Acesso em 27 nov. 2019.

ANEEL. Tarifas de energia elétrica. 2019. Acesso em 28 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br>>.

BONA, A. Retorno sobre investimento(roi): o que é e como calcular? 2019. Acesso em 11 nov. 2019. Disponível em: <<https://andrebona.com.br/retorno-sobre-investimento-roi-o-que-e-e-como-calculer/>>.

CPFL. **Horário de pico**. 2019. Acesso em 30 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/eficiencia-energetica/uso-consciente/Paginas/horario-de-pico.aspx>>.

CRESESB. **Energia Solar**. ANEEL, 2019. Acesso em 28 nov. 2019. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>.

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Relatório Síntese BEN 2019**: ano base 2018. [S.l.]: MME, 2019.

MASTERS, G. M. **Renewable and efficient electric power systems**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia Solar no Brasil e no Mundo**: Ano de referência. MME, 2016. Acesso em 27 de nov. 2019. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/>>.

MppSolar. **Controlador de Carga Solar**. MppSolar, 2019. Acesso em 28 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.mpptsolar.com/pt/controlador-de-carga-para-painel-solar.html>>.

PEREIRA, R. C. et al. Políticas públicas para expansão da energia solar fotovoltaica: um estudo dos principais programas de incentivo da tecnologia no Brasil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. PORTAL SOLAR, 2019. Acesso em 28 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>.

_____. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. PORTAL SOLAR, 2019. Acesso em 28 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>.