

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**Aline Oliveira Da Silva**

**Exploração de Recursos Renováveis em Escolas Públicas: Caso Escola Estadual  
Ensino Fundamental Eduardo Vargas**

**Alegrete, RS  
2018**



**Aline Oliveira Da Silva**

**Exploração de Recursos Renováveis em Escolas Públicas: Caso Escola Estadual  
Ensino Fundamental Eduardo Vargas**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Sistema Elétrico de Potência, da Universidade Federal do Pampa (Unipampa, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica**.

Orientador: Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler

Universidade Federal do Pampa – Unipampa  
Curso de Engenharia Elétrica

Alegrete, RS

2018

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

D111e Da Silva, Aline Oliveira

Exploração de Recursos Renováveis em Escolas Públicas: Caso  
Escola Estadual Ensino Fundamental Eduardo Vargas / Aline  
Oliveira Da Silva.

64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2018.

"Orientação: José Wagner Maciel Kaehler".

1. Energias Renováveis, Solar Fotovoltaica. 2. Solar  
Térmica. 3. Coleta e Armazenagem de Água da Chuva. 4. Análise  
Econômica de Projetos de Energias Renováveis. I. Título.



ALINE OLIVEIRA DA SILVA

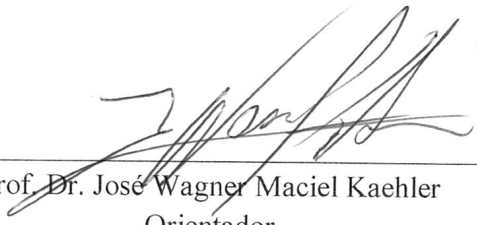
**EXPLORAÇÃO DE RECURSOS RENOVÁVEIS EM ESCOLAS PÚBLICAS: CASO ESCOLA ESTADUAL  
ENSINO FUNDAMENTAL EDUARDO VARGAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 3 de dezembro de 2018.

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler  
Orientador



---

Prof. Dr. Guilherme Sebastião da Silva  
UNIPAMPA



---

Prof. Dra. Natalia Braun Chagas  
UNIPAMPA



*Dedico este trabalho, com muito amor aos meus pais, Antenor(In Memoriam) e Dirce, aos meus irmãos, ao meu namorado Alian vocês são o esteio da minha vida.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela oportunidade da vida. Aos meus pais Antenor (In memoriam) e Dirce, por compreenderem minha ausência em vários momentos de nossas vidas e por oferecerem suporte psicológico, afetivo e financeiro durante mais esta etapa da minha vida. Aos meus irmãos, pela convivência e aprendizado constante do que é amor. Ao meu namorado Alian Engroff, por me apoiar durante esta jornada. Ao meu orientador Professor Dr. Eng. José Wagner Maciel Kaehler, pela orientação para que eu concluísse a graduação com o máximo de qualidade. A todos os meus colegas e amigos por suas contribuições na minha jornada e por dividirem as dificuldades das disciplinas comigo. A Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), pela oportunidade de evolução pessoal e profissional. À todas as pessoas que ajudaram de forma direta ou indireta a vencer mais esta etapa, o meu muito obrigado.



*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.*  
*(Martin Luther King)*





## RESUMO

O objetivo desta trabalho é o de descrever os procedimentos que viabilizam a exploração dos recursos renováveis de forma descentralizada, como solar térmica, energia fotovoltaica, energia fotovoltaica considerando a análise de eficiência energética e coleta de água da chuva, como alternativas para a redução de custos e diversificação energética em edificações escolares. Para tal, realizou-se pesquisa exploratória, por meio de estudo de caso na Escola Estadual de Ensino Fundamental Eduardo Vargas localizada em Alegrete no Estado do Rio Grande Do Sul. Foram executadas análises da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica, sistema de aquecimento térmico por coletores solares e sistema de captação da água da chuva, tendo sido utilizados indicadores econômicos, como: o payback descontado, o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e o valor anual uniforme equivalente. Os resultados revelaram a viabilidade dos projetos de Sistema de energia fotovoltaica com e sem estudo de eficiência energética, Sistema de Aquecimento Térmico por Coletores e Sistema de Captação da Água da Chuva. Sendo que todos os possíveis investimentos tem retorno dentro de um período de no máximo de 10 anos. Desta forma constatou-se que a viabilidade econômica, social e ambiental da exploração dos recursos energéticos renováveis, servindo ainda a escola como instrumento de difusão das novas tecnologias de transformação energética sustentáveis.

**Palavras-chave:** Energias Renováveis, Solar Fotovoltaica, Solar Térmica, Coleta e Armazenagem de Água da Chuva, Análise Econômica de Projetos de Energias Renováveis.



## **ABSTRACT**

This manual is the type of procedure that enables the production of renewable energy, such as solar energy, photovoltaic energy, photovoltaic energy and the generation of electricity and rainwater collection, as an alternative to reduce costs and energy diversification in school buildings. For this, an exploratory research was carried out, through a case study at the Eduardo Vargas State Elementary School located in Alegrete, State of Rio Grande do Sul. Analyzes of the economic and financial viability of solar photovoltaic energy, thermal heating system by solar collectors and rainwater harvesting system were carried out. Economic indicators were used, such as discounted payback, net present value, equivalent annual value. The results revealed the feasibility of the projects of photovoltaic energy system with and without energy efficiency study, Thermal Collector Heating System and Rainwater Harvesting System. Since all possible investments have a return within a maximum period of 10 years. In this way it was verified that the economic, social and environmental viability of the exploitation of the renewable energy resources, still serving the school as instrument of diffusion of the new technologies of sustainable energy transformation.

**Palabras Clave:** Renewable Energies, Photovoltaic Solar, Thermal Solar, Collection and Storage of Rainwater, Economic Analysis of Renewable Energy Projects.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	Distribuição do Trabalho	18
<b>2</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>19</b>
2.1	Resoluções Normativas	19
2.2	Eficiência Energética	20
2.3	Recursos Energéticos Renováveis	21
2.3.1	Energia Fotovoltaica	22
2.3.2	Rastreamento e captação da Energia	22
2.3.3	Células Fotovoltaicas	26
2.3.3.1	Material de Constituição das Células	29
2.3.4	Sistema Fotovoltaico	30
2.4	Sistema Solar Térmico	32
2.4.1	Desenvolvimento dos coletores solares	33
2.4.2	Coletores Planos	34
2.4.3	Coletores de Tubos de Vácuo	35
2.4.4	Reservatório Térmico	35
2.4.5	Circulação forçada e Circulação natural	37
2.5	Sistema Captação da Água da Chuva	37
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>41</b>
3.1	Identificação e Dados Gerais	41
3.1.1	Dados instalações atuais	41
3.2	Dimensionamento da Mini Geração Solar	42
3.3	Dimensionamento do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica	46
3.3.1	Investimento em Equipamentos para Instalação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica	48
3.3.2	Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica	48
3.4	Estudo de Caso para Eficiência Energética do Sistema de Iluminação	49
3.4.1	Substituição por Lâmpadas LED	49
3.4.2	Substituição dos Ar-Condicionados	50
3.5	Dimensionamento do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica Considerando a Análise de Eficiência Energética	51
3.5.1	Investimento em Equipamentos para Instalação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica	52
3.5.2	Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica	52

<b>3.6</b>	<b>Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Térmico por Coletores</b>	<b>53</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Investimento em Equipamentos para Instalação do Sistema de Aquecimento Térmico por Coletores . . . . .</b>	<b>54</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Aquecimento Térmico por Coletores . . . . .</b>	<b>55</b>
<b>3.7</b>	<b>Dimensionamento do Sistema de Captação da Água da Chuva . .</b>	<b>56</b>
<b>3.7.1</b>	<b>Investimento em Equipamentos para Instalação do Sistema de Captação da Água da Chuva . . . . .</b>	<b>56</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Captação da Água da Chuva . . . . .</b>	<b>57</b>
	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>59</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a constante evolução das tecnologias empregadas pelo setor elétrico brasileiro e mundial, impõe-se a busca por eficiência energética. Existem varias abordagens quanto a eficiência energética, dentre elas segundo (BORGNAKKE; SONNTAG, 2009), a eficiência de um sistema é medida pelo quanto ele consegue fornecer de trabalho, energia convertida ou serviço efetivo, com o que é drenado do sistema. Um bom exemplo disto, porém em outra área, seria o motor a combustão, presente na esmagadora maioria dos veículos automotores utilizados no Brasil. Sua eficiência é medida pela razão com que a energia térmica (potencial energético químico contido no combustível e usualmente liberada através de combustão) é convertida na energia mecânica a ser transmitida para as rodas. Assim observa-se que a multiplicidade dos sucessivos processos de transformação energética resultam num rendimento global inferior a 10%. Não existe uma máquina elétrica e (ou) mecânica 100% eficiente do ponto de vista energético, pois independente de quaisquer fatores, sempre ocorrem perdas. Os aparelhos elétricos e eletrônicos não fogem à regra, onde o nível de eficiência atual acaba fomentando estudos frequentes para construção de componentes que cumpram sua função de forma mais eficaz.

Nesse cenário, a preocupação ambiental é crescente, na maioria dos países. Por consequência, as fontes de energias renováveis vem ganhando cada vez mais espaço no mercado mundial (JARDIM et al., 2007). Os principais motivos para o aumento na participação de energias renováveis, conforme descreve (LODI, 2011) são as preocupações ambientais, desenvolvimento social e econômico, o aumento da competitividade diante da geração convencional, a volatilidade no preço do combustível fóssil, aumento na demanda energética, a segurança energética e as políticas governamentais.

Assim sendo, a energia solar, que no Brasil já é uma realidade, permite ao cidadão produzir energia elétrica em sua própria casa. É uma fonte de energia limpa e renovável que se utiliza dos raios do Sol, cujo impacto no meio ambiente é menor do que o de uma usina hidrelétrica, nuclear ou termelétrica (RÜTHER; SANTOS, 2011) .

Para que usinas de geração de energia poluentes sejam desativadas, faz-se necessário o investimento no combate ao desperdício de energia e em energias renováveis. Dentre as energias ditas renováveis, temos principalmente as fontes primárias: hidráulica, biomassa, eólica e solar. Assim, levando em consideração essa premissa, da utilização racional e eficiência do uso final de energia elétrica, projetou-se um sistema de recursos energéticos renováveis, capaz de suprir toda a necessidade energética atual da Escola Estadual de Ensino Fundamental Eduardo Vargas, além de um sistema de aquecimento de água utilizando coletores solares e armazenamento de água da chuva. Todos esse itens visando o bem social e da natureza do ambiente onde a escola está inserida.

## 1.1 Distribuição do Trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em 4 principais capítulos, são eles:

- Capítulo 1 - Introdução

Onde são apresentados os aspectos iniciais do trabalho.

- Capítulo 2 - Contextualização Teórica

Onde são apresentados só principais conceitos aplicados para o desenvolvimento do trabalho.

- Capítulo 3 - Desenvolvimento

Onde são apresentados as métricas utilizadas nos projetos, bem como os resultados para cada um deles.

- Capítulo 4 - Considerações Finais

Por fim uma breve explanação, onde estão compilados os resultados.



## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Resoluções Normativas

A resolução normativa nº482, 2012, da ANEEL, permitiu ao usuário realizar a compensação de energia com a rede, quando entrou em vigor, no ano de 2012. Até então, 99% dos painéis em operação no país eram usados em regiões isoladas, sem conexão com a rede elétrica. Porém, a partir da resolução, a energia fotovoltaica e suas atribuições, começaram a crescer no país. Entretanto, com a entrada em vigor da Resolução Normativa nº687 de 24 de novembro de 2015, a partir de 01 de março de 2016, a Resolução 482 da ANEEL sofreu grandes atualizações, impactando diretamente sobre o mercado de energia elétrica para micro e mini geradores distribuídos, pois cria novos nichos de consumidores e possibilidades de negócios (SANTOS, 2016).

A nova resolução também diminuiu o processo burocrático para a inserção das centrais geradoras junto às concessionárias de energia. Das principais alterações, destaca-se o aumento no prazo para uso dos créditos energéticos, que passou de 36 para 60 meses e o período para a aprovação do sistema fotovoltaico junto à concessionária que passou de 82 para 34 dias. Além disto, a potência limite quanto à classificação em micro e mini geração também foi alterada (ANEEL, 2016):

- Micro geração - Fica definido como micro gerador, qualquer sistema gerador de energia elétrica por fontes renováveis, com potência instalada inferior ou igual à 75kW. ( Pela resolução 487, anterior, este limite era de até 100kW).
- Mini geração - Fica definido como mini gerador, o sistema gerador de energia elétrica por fontes renováveis, com potência instalada superior à 75kW e inferior à 3MW, para fontes hídricas, ou inferior a 5MW para outras fontes renováveis, como Solar, Eólica, Biomassa, dentre outras (Resolução anterior permitia potências entre 100kW e 1MW) (ANEEL, 2016).

O consumidor pode utilizar os créditos em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão e caracterizada como, definidas da seguinte forma:

- Geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de 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;
- 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;

- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): 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.

A potência da micro ou mini geração distribuída também sofre mudanças com relação à resolução 482 da ANEEL, tendo agora como único parâmetro limitante a potência disponibilizada pela concessionária local à unidade consumidora. Para os consumidores do “grupo B”, que ficavam limitados pela carga instalada da unidade, agora podem estimar a potência máxima instalada do sistema gerador multiplicando-se o valor da capacidade de corrente do disjuntor geral pela tensão nominal, disponíveis no ramal de entrada (medidor de consumo) (ANEEL, 2016). Para os consumidores do grupo A (alta tensão), não há valor mínimo a ser pago a título de energia, contudo os consumidores continuam sendo faturados normalmente pela demanda.

## 2.2 Eficiência Energética

Dentre os custos de gerenciamento usuais de uma empresa, seja ela do setor comercial, industrial, de natureza pública ou privada, a Energia vem assumindo um processo de crescimento gradativo e constante. As motivações para isto passam pela necessidade de redução de custos decorrentes do mercado competitivo, a incerteza da disponibilidade energética no médio e longo prazo, ou até mesmo por questões ambientais. De qualquer forma, promover a eficiência energética, em sua essência, consiste em usar o conhecimento de forma aplicada, através dos conceitos de engenharia, economia e da administração aos sistemas e recursos energéticos. Entretanto, dada à diversidade e complexidade destes, é interessante apresentar alternativas técnicas para definir objetivos e ações, afim de melhorar o desempenho energético e reduzir as perdas nos processos de transporte, armazenamento e distribuição de energia (PROCEL, 2017).

Para que um serviço de energia seja ofertado com qualidade, segundo o MME (Ministério de Minas e Energia), faz-se necessário um sistema de transformações, transporte e armazenagem, com origem nas fontes de energia disponíveis na natureza, tanto de origem

renovável quanto não renovável. O planejamento do setor de energia, de acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética do MME, como é citado por (ENERGÉTICA, 2014), necessita de uma busca maior por alterações, melhorias tecnológicas ao longo do sistema, porém, é importante também a consciência de que, uma melhor organização, gestão e conservação energética por parte de todos os componentes deste sistema, resulta em um melhor desempenho do setor como um todo.

A realização de qualquer ação de Eficiência Energética, deve-se, segundo (PROCEL, 2017), conhecer e diagnosticar a realidade energética, para tão somente a partir disto, estabelecer prioridades, implementar projetos de redução de perdas através de melhorias, bem como acompanhar os resultados obtidos de forma continuada. Este argumento é válido para modificações corretivas e preventivas, ou seja, instalações já existentes ou em processo de concepção, respectivamente em todos os setores, seja comercial, industrial, público ou privado.

### 2.3 Recursos Energéticos Renováveis

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das mais promissoras alternativas energéticas para obter-se a energia necessária ao desenvolvimento humano. Duas vantagens notáveis são destacadas para a energia fotovoltaica: a possibilidade de fabricação dos equipamentos em larga escala, e a possível utilização desta tecnologia de forma largamente descentralizada, podendo suprir pequenas demandas, como por exemplo uma calculadora de mão, ao mesmo tempo em que é empregada para projetos maiores, como usinas de geração fotovoltaica por exemplo. A principal desvantagem da geração solar está justamente na intermitência do sol, ou seja, um recurso que não encontra-se sempre disponível, e ainda assim depende das condições climáticas.

No Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), para o ano de 2017, a matriz é predominantemente renovável, manteve-se entre as mais elevadas do mundo. O avanço do gás natural foi compensado principalmente pela eólica e biomassas da cana, lixo e biodiesel. (ENERGÉTICA, 2018).

Conforme expõe (TOLMASQUIM, 2007), mesmo com a abundante matriz energética brasileira, há uma parte da população que ainda enfrenta problemas de suprimento energético em suas regiões, o desenvolvimento de atividades econômicas e até mesmo o bem estar pessoal acabam por ser comprometidos. Para esta parcela da população, a energia fotovoltaica surge como uma possível solução para minimizar as dificuldades. Ainda de acordo com (TOLMASQUIM, 2007), o Plano Nacional de Energia 2030, considera os sistemas solares elétricos como uma grande promessa para a geração distribuída. A geração de energia fotovoltaica, porém, ainda não representa uma quantia significativa na geração de energia em território nacional como um todo, apesar de que, a disponibilidade

do recurso solar supera países como a Alemanha.

### 2.3.1 Energia Fotovoltaica

O Efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez por Heinrich Hertz. Em 1886, Hertz descobriu que quando um feixe de luz incidia sobre uma placa metálica, quando esta estivesse próxima a outra com potencial diferente, ocorria uma descarga elétrica entre elas, e ao diminuir a incidência luminosa, a descarga também diminuía (FOWLER, 1997). A teoria era de que a energia provinda da luz, "arrancava" elétrons da camada a qual pertenciam, expelindo-os do material, estes então seriam atraídos pela placa próxima, que estava em potencial mais baixo. Este processo formaria a descarga.

Em 1905, Einstein sugeriu que em determinadas circunstâncias, a luz comportava-se como uma partícula, diferente do que se pensava até então, que seria como uma onda. A partir disto, determinou-se a natureza onda-partícula. Segundo Einstein, poderia-se pensar em luz como sendo um fluxo de partículas, denominadas "Fótons", onde cada um funcionaria como um pequeno pacote de energia (WALKER et al., 2002).

### 2.3.2 Rastreamento e captação da Energia

De acordo com (TIEPOLO et al., 2018), a disponibilidade de radiação solar é dependente da latitude local e da posição no tempo, além das condições atmosféricas. Isto se dá devido ao movimento de rotação e translação de nosso planeta. Desta forma, para cada dia do ano tem-se um grau de intensidade de radiação diferente. Alguns períodos (estações do ano) de diferentes graus de irradiação são demonstrados através da figura 1, de (ANEEL, 2008).



Figura. 1 – Estações do ano em função do movimento e da inclinação da terra em relação ao sol.

A duração da radiação solar no período de um dia, varia de acordo com a região e o período do ano, indo de 0 (zero) a 24 (vinte e quatro) horas. As variações de maior

intensidade ocorrem nos pólos e períodos de solstício. O (INFORME, 2008) demonstra através da figura 2, uma média anual de insolação diária, no Brasil.

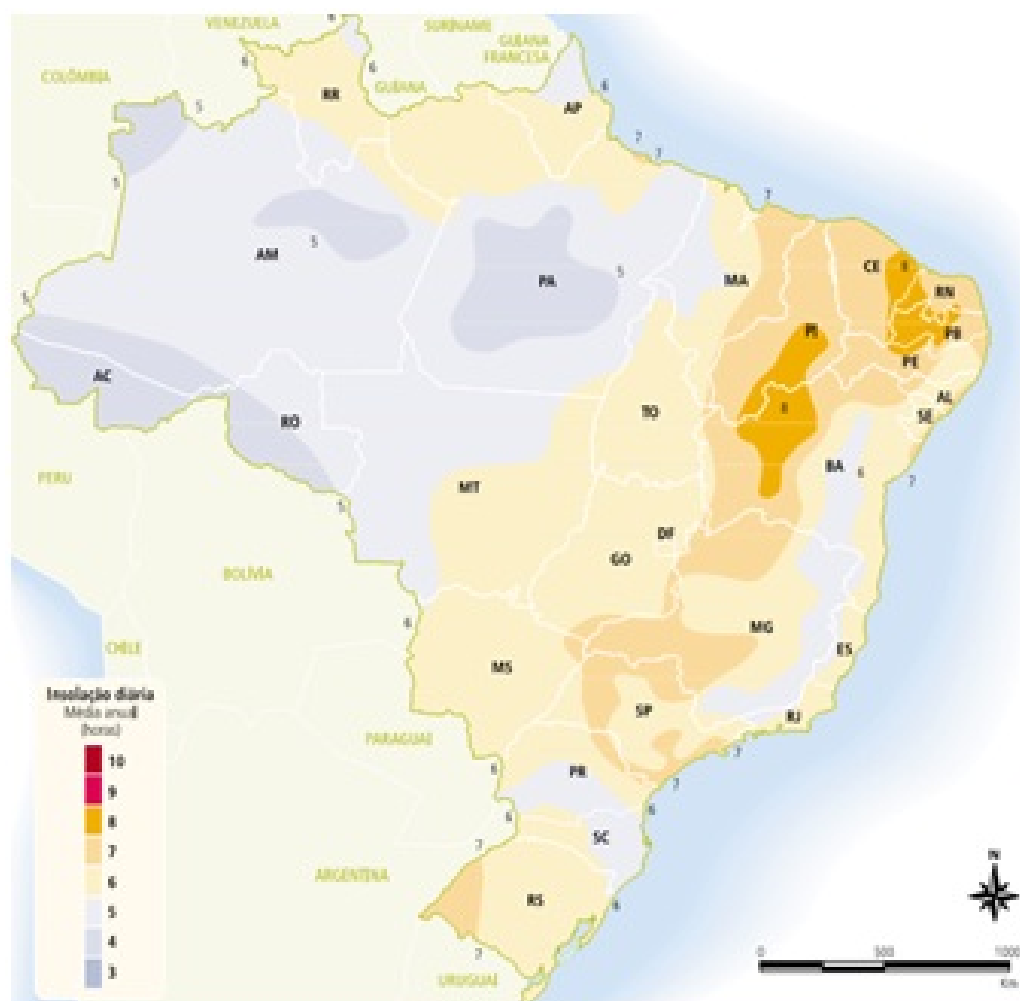


Figura. 2 – Média anual de insolação, em horas diárias, segundo CRESESB 2000.

O Brasil, pelo fato de localizar-se próximo a linha do Equador, conta com pouca variação da duração solar diária na maioria de sua extensão territorial. Porém, a maior parte da produção econômica brasileira, bem como população, localizam-se distanciadadas da Linha do Equador, mais especificamente próximas ao eixo do Trópico de Capricórnio.

De acordo com (INFORME, 2008), para estes locais, aconselha-se regular a posição do coletor solar conforme a latitude local. No hemisfério sul recomenda-se fixar o sistema de geração com orientação para o norte geográfico e ângulo de inclinação similar ao utilizado para latitude normal.

A terra entretanto apresenta diferença de inclinação durante o ano, esta mudança é definida através de uma linha entre o centro terrestre e o sol. Esta linha forma um ângulo com a linha do Plano Equatorial, a este ângulo dá-se o nome "Ângulo de Declinação". O mesmo é representado por (OLIVEIRA et al., 2017) através da figura 3.

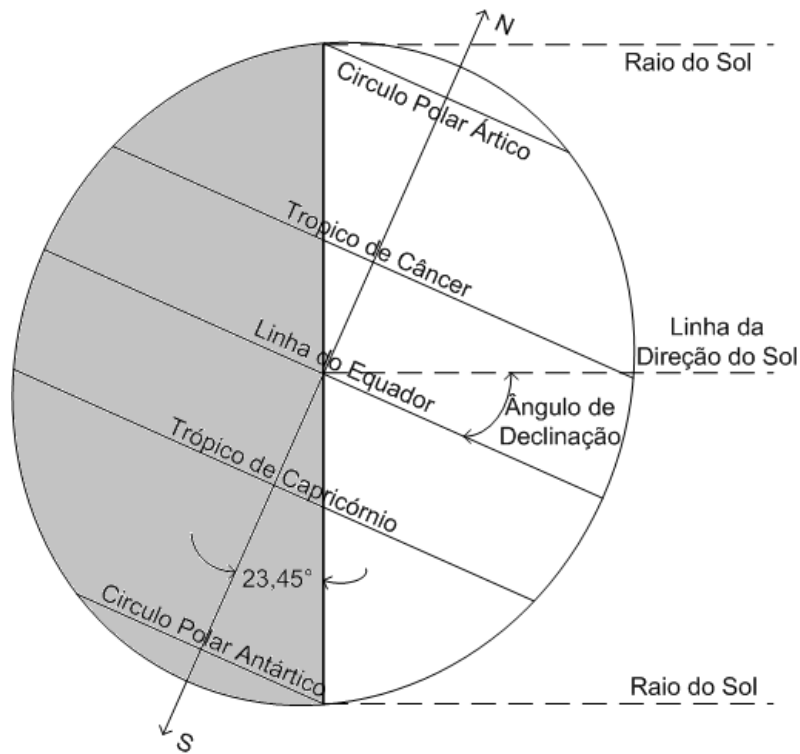


Figura. 3 – Definição do Ângulo de Declinação.

Segundo (OLIVEIRA et al., 2017), é de acordo com a declinação solar que pode-se determinar o número de horas com incidência solar durante o período de um dia. Os dias mais longos ocorrem próximo ao Solstício de Verão, em meados de Dezembro. Porém, há também o Solstício de inverno, que ocorre em meados de Junho, quando ocorre o dia com menos horas de sol. Para estes diferentes períodos, têm-se ângulos distintos de inclinação buscando o melhor aproveitamento solar.

A figura 4, de (OLIVEIRA et al., 2017), exibe um gráfico para representar a declinação solar ao longo do ano.

Ainda conforme (OLIVEIRA et al., 2017), os painéis de captação da energia solar podem operar como Rastreador Fixo, Rastreador Solar com variação no Eixo Polar e Rastreador Solar em dois eixos. Cada um destes sistemas é indicado conforme a localização da estação geradora. Na região da linha do Equador, por exemplo, a cidade de Macapá-AP, o eixo solar tem por característica repetir-se durante o ano inteiro, necessitando portanto de rastreamento em apenas um eixo, de sentido leste-oeste. Entretanto, para municípios como Alegrete-RS, localizados em maior latitude, justifica-se o uso do rastreamento em dois eixos. Neste caso, um varia ao longo do dia, e o outro conforme a mudança do eixo solar ao decorrer do ano. A diferença no eixo solar anual torna-se visível ao comparar-se as cartas solares cartesianas para os dois municípios supracitados, as quais são expressas nas figuras 5 e 6, ambas expressas por (KUHN, 2013).

A geração das cartas solares para cada lugar analisado, bem como os cálculos neces-

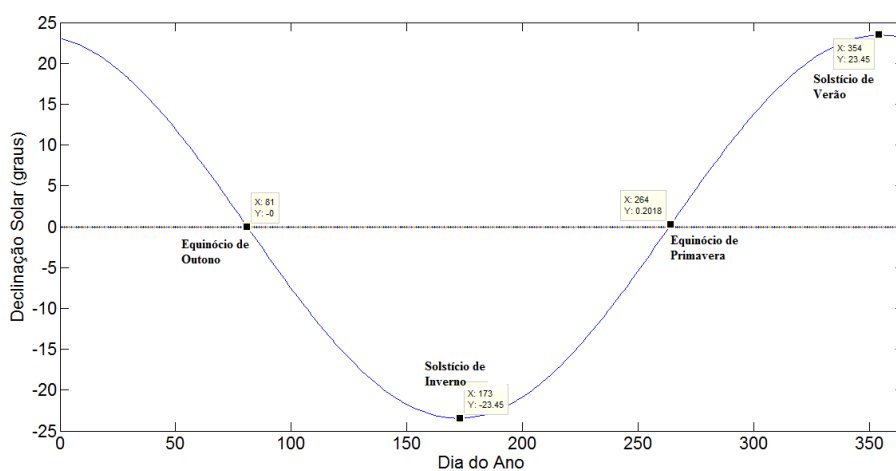


Figura. 4 – Declinação solar.

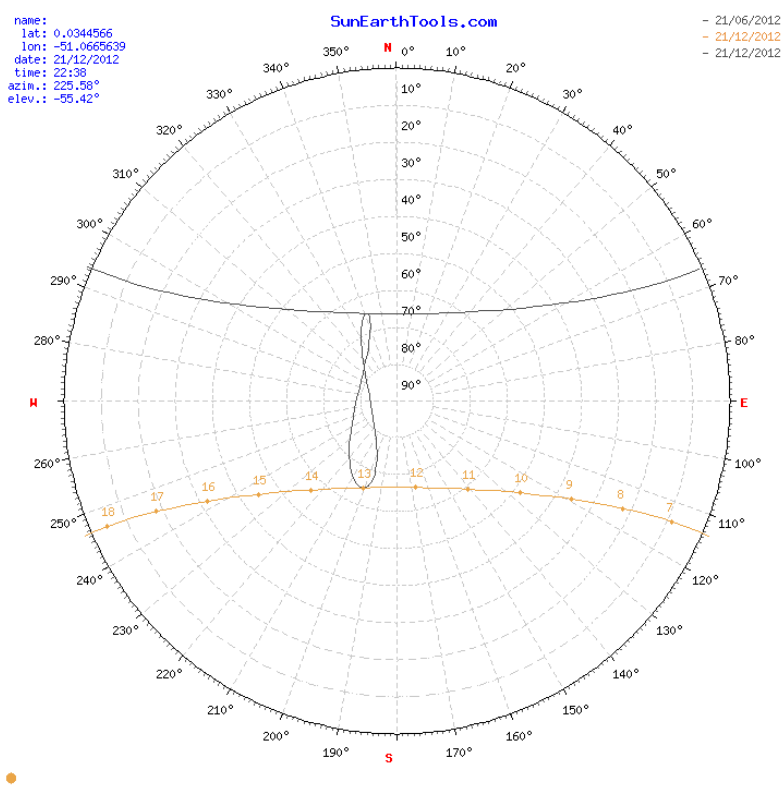


Figura. 5 – Carta solar cartesiana para Macapá-AP .

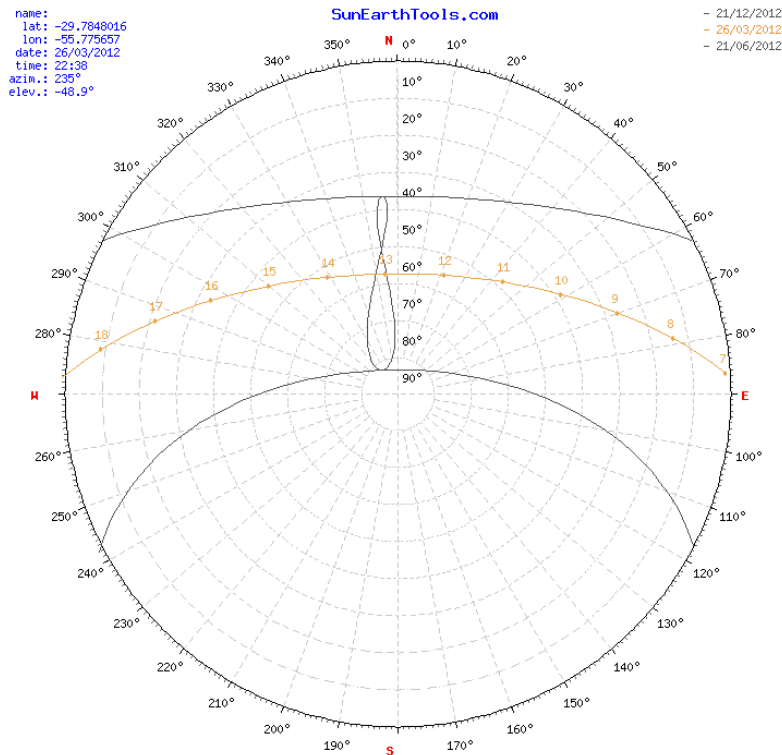


Figura. 6 – Carta solar cartesiana para Alegrete-RS

sários para determinar o potencial energético solar em cada localização tem complexidade considerável. Por tanto, costuma-se utilizar-se de *softwares* especializados neste tipo de simulação, como por exemplo a ferramenta online *SunEarthTools*.

O *SunEarthTools* é uma aplicação online que permite gerar-se as cartas solares (cartesiana e polar) para quaisquer localidades, através de suas coordenadas geográficas. A ferramenta também possibilita a análise de viabilidade econômica para implementação da mini geração, considerando dados sobre a necessidade energética, custos de implementação, potencial solar, entre outros dados. Ao relacionar todos os dados, o programa retorna um tempo de retorno estimado para o investimento. As figuras 7 e 8 demonstram a utilização do SunEarth.

### 2.3.3 Células Fotovoltaicas

A célula é composta por uma superfície captadora da radiação solar, tipicamente de silício mono ou policristalino dopada por elementos semicondutores e de um sistema de teia metálica unidirecional de coleta de elétrons livres que abrange toda a célula. Os módulos solares utilizados na captação da energia solar representam um aglomerado destas células (JOÃO, 2016).

Para aproveitar esta energia incidente, precisa-se de um campo elétrico. Para isto, usufrui-se de uma propriedade característica dos materiais semicondutores, chamada



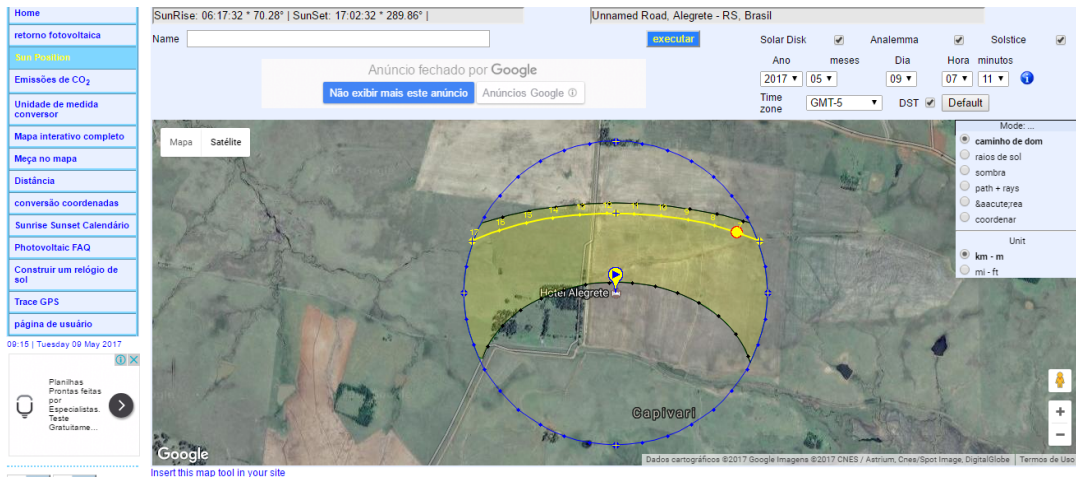


Figura. 7 – Ambiente da Ferramenta SunEarth para estimar as cartas solares.



Figura. 8 – Ambiente da Ferramenta SunEarth para estimar a viabilidade econômica do sistema.

Camada de Depleção. Tal efeito acontece ao unir-se dois cristais semicondutores, geralmente Silício, cada um dopado inversamente, ou seja, um positivamente e outro negativamente. A dopagem é feita adicionando-se, mais comumente, Boro em um dos lados, e composto de Fósforo no outro, formando então a junção PN. Nesta configuração, elétrons livres do lado N passam para as lacunas criadas no lado P, isso acarreta um acúmulo de elétrons do lado P e redução de elétrons no lado N. Este processo gera um campo elétrico, o qual dificulta a passagem de mais elétrons para o lado P, fazendo com que o processo alcance um equilíbrio e estabeleça-se uma espécie de barreira ao deslocamento de novos elétrons. Quando a junção PN é exposta a fótons com energia maior que esta barreira, surgem novos pares de elétron/cavidade, que na presença do campo elétrico, as cargas são aceleradas, proporcionando a passagem de corrente elétrica através da junção. Este efeito proporciona uma diferença de potencial e é chamado de efeito fotovoltaico (JOÃO, 2016). A figura 9

expressa o efeito fotovoltaico, em uma junção PN (JOÃO, 2016).

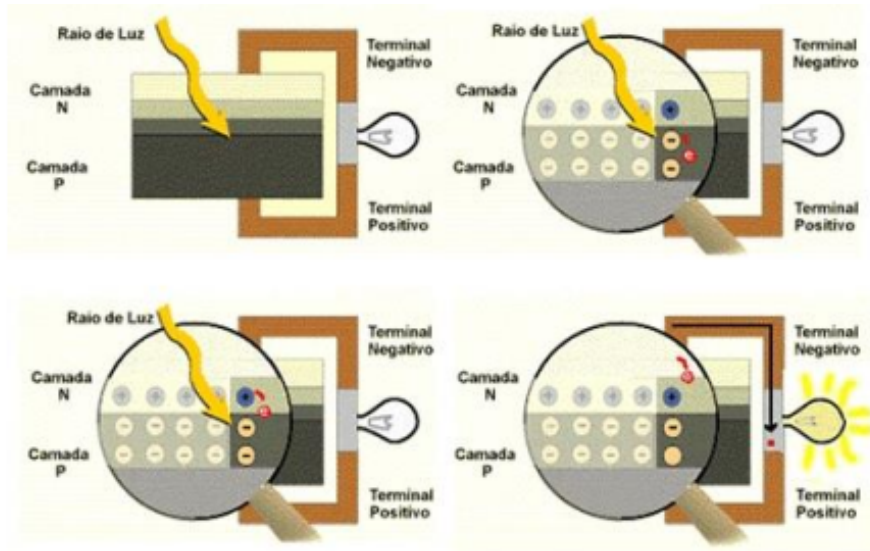


Figura. 9 – Efeito fotovoltaico na camada PN.

De acordo com (KUHN, 2013) uma célula produz em média 1,5W , correspondentes à tensão de 0,5 Volts e 3 Ampères. Para obter-se potências maiores, faz-se o uso da associação série ou paralelo das células. Esta associação forma um módulo fotovoltaico, com potência comumente entre 50 e 400Wp, estes por sua vez podem formar um painel fotovoltaico, com potências acima dos 330Wp.

A eficiência de uma célula solar fotovoltaica é medida pelo quanto da radiação solar incidente sobre a mesma, é de fato convertida em energia elétrica. Ainda segundo (KUHN, 2013), as células solares fotovoltaicas apresentam eficiência em torno dos 15%.

Os índices de eficiência para os tipos de célula mais utilizados são expressos por (KUHN, 2013) através da tabela 1.

Tabela 1 – Eficiência por tipo de Célula Fotovoltaica.

Tipo de Célula	Eficiência (%)			Custo (US\$/Wp)
	Teórica	Laboratório	Comercial	
Silício de Cristal Simples	30	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício Concentrado	27	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício Policristalino	25	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício Amorfo 17,0	13	4 a 7	3 a 5	-

Conforme expresso anteriormente, um painel fotovoltaico pode ser formado por várias células em série, de modo que a tensão seja somada até atingir-se o índice de tensão e consequentemente potência desejadas para cada painel. A colocação destas células em série e o resultante aumento da tensão, são demonstrados pela figura 10 (KUHN, 2013).

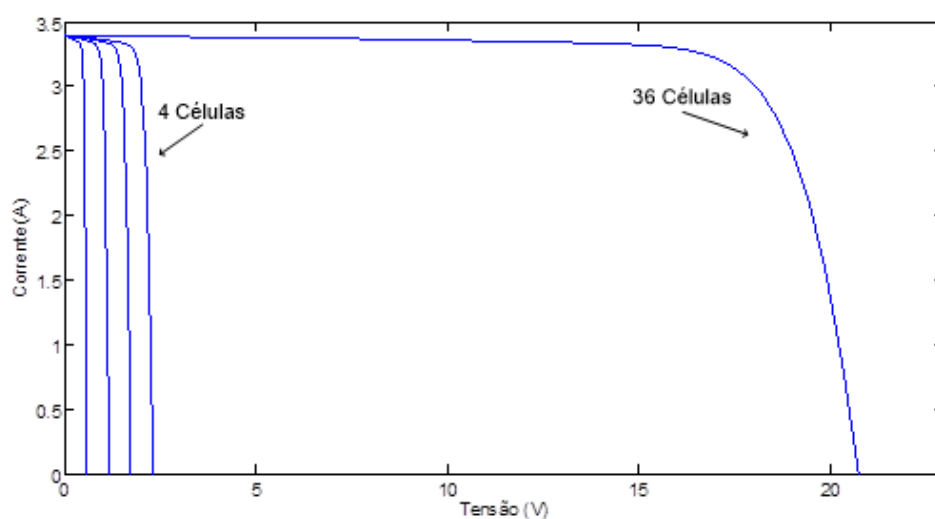


Figura. 10 – Células em série para elevar a tensão mantendo a corrente do sistema.

### 2.3.3.1 Material de Constituição das Células

Os vários tipos de materiais utilizados nas células que formam um painel fotovoltaicos serão expostos a seguir, conforme descrito por (FILHO, 2015):

- Silício mono cristalino: Historicamente a mais usada e comercializada para converter diretamente a energia solar em elétrica. A tecnologia para sua fabricação consiste num processo básico e bem constituído. Dentre as células que utilizam o silício como base, as monocristalinas apresentam os maiores índices de eficiência. Comercialmente, as células atingem eficiência de 15%, índice que pode chegar a 18% para construções em laboratório.

A célula de silício mono cristalino é representada pela figura 11 de (BRAGA, 2008).

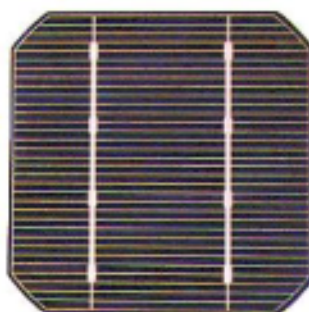


Figura. 11 – Célula de Silício mono cristalino.

- Silício poli cristalino: Também conhecido como silício multi cristalino, as células formadas por este material são mais baratas, pois exigem um processo de preparação

menos exigente. No entanto, isso reflete-se na eficiência, que é um pouco inferior à célula monocristalina.

A célula de silício poli cristalino é representada através da figura 12, de (BRAGA, 2008).

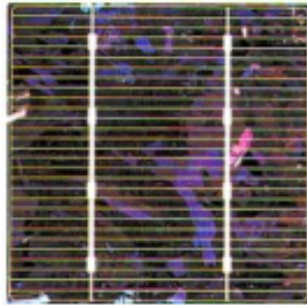


Figura. 12 – Célula de Silício poli cristalino.

- Silício Amorfo: Uma célula deste material difere-se das demais por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. Porém, apresenta vantagens nas propriedades elétricas e no processo de fabricação. Esta célula apresenta uma absorção de radiação solar na faixa da luz visível, e pode ser fabricada mediante a deposição de diversos substratos. Por esses fatores, o silício amorfo é uma alternativa para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Esta forma de célula apresenta porém uma menor eficiência energética, e ainda a diminuição da eficiência ao longo de sua vida útil, sendo esta uma forte desvantagem.

A célula de Silício amorfo é representada pela figura 13, de (BRAGA, 2008).



Figura. 13 – Célula de Silício Amorfo.

#### 2.3.4 Sistema Fotovoltaico

Como a a geração de energia elétrica através de energia fotovoltaica é dada de forma direta, não necessitando de transformação para outra formas de energia, como química ou mecânica, por exemplo, como demonstrado pela figura 14.

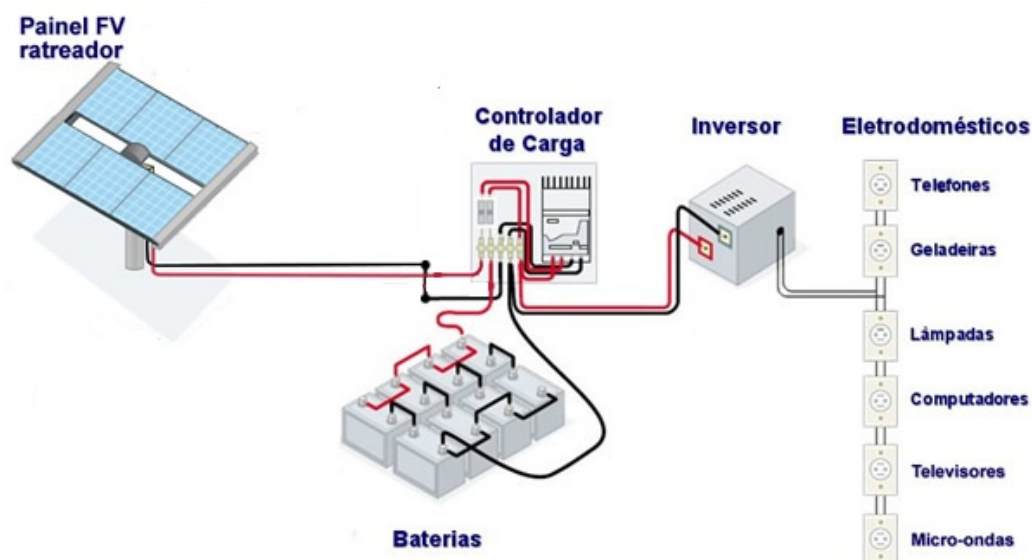


Figura. 14 – Sistema de Geração Fotovoltaica.

De acordo com (KUHN, 2013), um sistema fotovoltaico é constituído basicamente das partes a seguir:

- Painel Solar - Responsável pela conversão da radiação solar em energia elétrica;
- Controlador de Carga - Controla a geração, respeitando os limites especificados pelo banco de baterias (limitando valores de tensão e ou corrente);
- Banco de Baterias - Baterias ligadas em arranjos série e/ou paralelo, utilizadas para armazenar a energia gerada que seja excedente ao consumo, ou ainda para os períodos de escassez na geração;
- Inversor - A energia é gerada em Corrente Contínua, porém para sua utilização é preciso realizar a conversão para forma senoidal, com tensão (127 ou 220 Volts) e frequência (50 ou 60Hz) definidas. Esta é basicamente a função do inversor.

De acordo com (BRAGA, 2008), os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três configurações principais:

- Sistemas isolados;
  - Sistemas híbridos;
  - Sistemas interligados à rede.
- 
- Sistemas isolados: Também conhecidos como sistemas autônomos, são sistemas fotovoltaicos que não se encontram conectados à rede elétrica. São sistemas que

alimentam diretamente as cargas que irão consumir a energia produzida. Sua maior aplicabilidade está em locais remotos. Ao se dimensionar um sistema isolado, deve ser levado em consideração o cálculo de consumo da carga e utilizar como base os piores índices de radiação solar para área onde irá ser implantado. Esse tipo de sistema pode ou não utilizar algum tipo de armazenamento de energia e não apresentam fontes de energia complementares à geração de energia advinda do Sol, sendo denominados de puramente fotovoltaicos.

Alguns exemplos de aplicações de sistemas isolados são (FILHO, 2015):

- Sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água;
- Eletrificação de cercas;
- Estações replicadoras de sinal;
- Casas isoladas da rede elétrica.
  
- Sistemas Híbridos: Consistem da combinação de sistemas fotovoltaicos com outras fontes de energia, com o intuito de assegurar o nível de carga nas baterias quando da ausência de energia solar. As fontes de energia auxiliares são a geração eólica, diesel, gás, dentre outros. Os sistemas híbridos são geralmente aplicados para gerações de médio a grande porte, onde atinge um número maior de consumidores. Como é uma configuração onde existem várias possibilidades de arranjos energéticos e escolhas, cada sistema deve ser estudado de forma particular para melhor otimização do conjunto.
  
- Sistemas interligados à rede: Esses sistemas representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão conectados. No caso do Brasil, conectados ao SIN (Sistema Interligado Nacional). Devido à geração total ser injetada diretamente na rede, estes sistemas não possuem bancos de baterias para armazenamento. O arranjo de painéis é portanto conectado aos inversores, os quais injetam a energia diretamente na rede. Por estarem diretamente conectados à rede, estes inversores necessitam satisfazer severas exigências de qualidade e segurança, de forma a proteger a rede elétrica de interferências dos mesmos. Isto é feito através da correção de distorções harmônicas, proteção contra sobretensões e sobre correntes, buscando uma saída com onda senoidal mais pura possível.

## 2.4 Sistema Solar Térmico

A utilização de energia solar no aquecimento de água vem sendo realizada há várias décadas e em muitos países. O elevado custo das formas de energia convencionais despertam

especial interesse no aproveitamento dessa forma de energia, cujo investimento inicial em equipamentos é compensado pelo fornecimento energético sem grandes problemas. Além disso, o maior uso de aquecedores solares de água em residências pode melhorar a gestão de cargas no horário de ponta, com conseqüente aumento na confiabilidade do sistema elétrico brasileiro. (NASPOLINI et al., 2010).

A radiação solar pode ser absorvida por coletores solares, principalmente para aquecimento de água a temperaturas relativamente baixas (inferiores a  $100^{\circ}C$ ). O uso dessa tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial, mas há demanda significativa e aplicações em outros setores, como edifícios públicos e comerciais, hospitais, restaurantes, hotéis e similares. Esse sistema de aproveitamento térmico da energia solar, também denominado aquecimento solar ativo, envolve o uso de um coletor solar discreto.

O coletor é instalado normalmente no teto das residências e edificações e, por isso, é também conhecido como teto solar. Devido à baixa densidade da energia solar que incide sobre a superfície terrestre, o atendimento de uma única residência pode requerer a instalação de vários metros quadrados de coletores, para o suprimento de água quente para uma residência típica. Em geral a água aquecida pelos coletores é armazenada em reservatórios especiais, com isolamento térmico adequada, mantendo a eficiência do sistema. Através desse sistema de coleta solar e reservatório é feita a circulação de água, essa circulação pode ser realizada de maneira forçada ou natural. Assim cria-se um sistema de aquecimento contínuo da água no sistema interno.

#### 2.4.1 Desenvolvimento dos coletores solares

No século XVIII, o cientista suíço Nicholas de Saussure, idealizou um coletor de energia solar, que vem sendo utilizado até os dias de hoje para aquecimento de água em instalações domésticas e comerciais. O cientista em seus estudos construiu uma simples caixa de madeira, quadrangular com poucos centímetros de altura, pintada de preto na sua parte interna de forma a absorver o máximo da radiação solar, e cobriu-a com um vidro.

Expondo a caixa ao sol, obtiveram temperaturas de até 85 graus Celsius no seu interior. Atualmente essas caixas, contendo uma serpentina por dentro onde circula a água, são construídas de materiais mais isolantes e colocadas em série sobre o telhado da casa, distribuídas de forma que se possa obter a máxima exposição às radiações solares. Conseguem-se assim, o aquecimento de uma considerável quantidade de água, servindo para todos os usos. Esses simples equipamentos, mesmo em países frios, podem reduzir até um terço do gasto de combustíveis para aquecimento da casa e da água de banho ou de cozinha. Na nossa região tropical, com insolação muito mais intensa e durante todo o ano, a economia pode ser muito maior. (DREY et al., ).

O tipo de coletor solar depende do tipo de aplicação e da temperatura de operação que a aplicação necessita. Para baixas temperaturas, como o uso para aquecimento de



piscinas, os coletores podem ser do tipo plano sem cobertura. Para aquecimento para banho doméstico, os coletores já devem ser com cobertura. Para aplicações industriais, os coletores planos de alto desempenho ou os coletores de tubo evacuado. (ROSA, 2012).

A Figura 15 mostra curvas típicas de eficiência que possibilitam distinguir qual o melhor coletor em função da diferença entre a temperatura da água quente desejada e a temperatura ambiente.

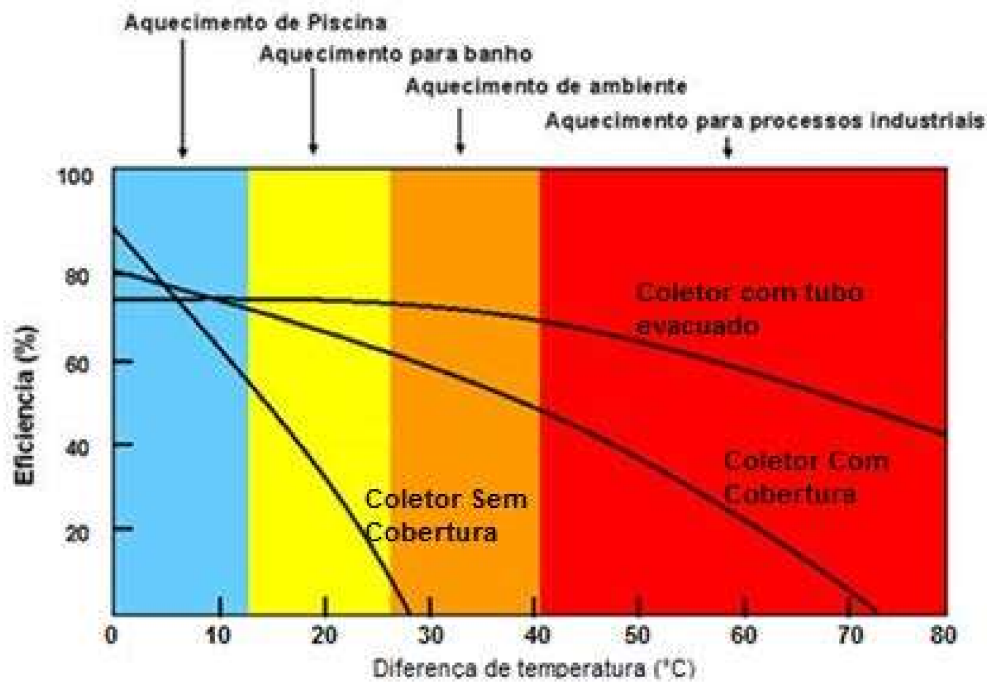


Figura. 15 – Curvas típicas de eficiência de coletores em função da diferença entre a temperatura de operação e a temperatura ambiente. Fonte: [www.solarserver.com.br](http://www.solarserver.com.br)

## 2.4.2 Coletores Planos

Um coletor solar plano com cobertura é composto basicamente dos seguintes componentes: Caixa externa que mantém e suporta todo o conjunto e pode ser fabricada em alumínio, aço ou material polimérico. Isolamento térmico que é responsável por diminuir as perdas de calor do fluido de trabalho para o meio ambiente. Tubulação que é por onde passa o fluido de trabalho e é dividida em tubos do cabeçote e tubos elevadores. Os tubos do cabeçote são os tubos de entrada e saída do coletor. Placa absorvedora que é a principal responsável pela conversão de energia radiante em energia térmica, passando por condução e convecção através dos tubos para o fluido de trabalho. A placa absorvedora pode ser uma única envolvendo todos os tubos, ou particionada. Pode ser de alumínio ou cobre pintadas de preto ou algum tratamento seletivo especial. Cobertura que pode ser de vidro, policarbonato ou acrílico que permita a passagem da radiação solar.



Um coletor plano pode ser visualizado em corte na Figura 16 , onde é possível identificar os componentes do mesmo.



Figura. 16 – Corte de um coletor plano. Fonte: [www.solares-online.com.br](http://www.solares-online.com.br)

### 2.4.3 Coletores de Tubos de Vácuo

Estes coletores são a chamada nova geração de coletores solares, apresentando nos meses mais frios, um rendimento superior aos convencionais coletores planos devido à sua forte capacidade de retenção. Como atingem altas temperaturas, são indicados para aquecimento de águas quentes sanitárias, para apoio de aquecimento central e de piscinas.

São constituídos por um coletor de cobre inserido numa peça única de lâ de vidro prensada, dentro de uma estrutura de proteção de alumínio, de maneira a conservar o calor qual se dá o nome de cabeçote ou câmara de irradiação. Estes coletores, para além de garantirem a absorção de energia solar direta, também absorvem a energia radiante pela sua cobertura seletiva. (CASTIAJO, 2012). Um coletor de tubos de vácuo pode ser visualizado na figura 17.

### 2.4.4 Reservatório Térmico

Para aplicações de aquecimento de água, é necessário armazenar a energia acumulada durante o dia ou durante vários dias de forma a poder utilizar em momentos diversos. Para isto é necessário um reservatório térmico com capacidade para atender à demanda de água quente.

Os reservatórios ou tanques (figura 18) podem ser de aço inoxidável ou material polimérico, revestidos com isolamento térmico.



Figura. 17 – Corte de um coletor de tubos de vácuo . Fonte: [www.oaquecedorsolar.com.br/](http://www.oaquecedorsolar.com.br/)



Figura. 18 – Reservatório térmico

#### 2.4.5 Circulação forçada e Circulação natural

Nos coletores planos, quando o número de coletores é pequeno e as distâncias envolvidas são curtas, é possível utilizar o sistema de circulação natural, também chamado de termosifão. (ROSA, 2012). O sistema de termosifão utiliza a diferença de densidade entre a água quente e a fria, de forma a movimentar a água quente de volta ao tanque depois de aquecida no coletor. Com isto água fria desce do tanque para o coletor. Para a utilização deste sistema, algumas regras importantes devem ser observadas, como a diferença de altura entre o coletor e o tanque, sendo que o coletor deve estar mais baixo, permitindo à água quente subir. A Figura 19 mostra um esquema simplificado do funcionamento de um sistema para aquecimento de água usando um coletor plano com circulação natural.

Quando a distância for grande, o número de coletores for grande ou os coletores precisarem estar mais altos que o tanque, é necessário empregar o sistema de circulação forçada. Este sistema prevê que uma bomba com controladores de temperatura ou temporizador faça a circulação da água pelos coletores.

### 2.5 Sistema Captação da Água da Chuva

Atualmente a escassez de água própria para o consumo humano vem tomando proporções alarmantes. Alguns fatores genéricos como o aumento contínuo da população mundial e o crescimento das cidades e dos centros industriais são responsáveis pelo aumento

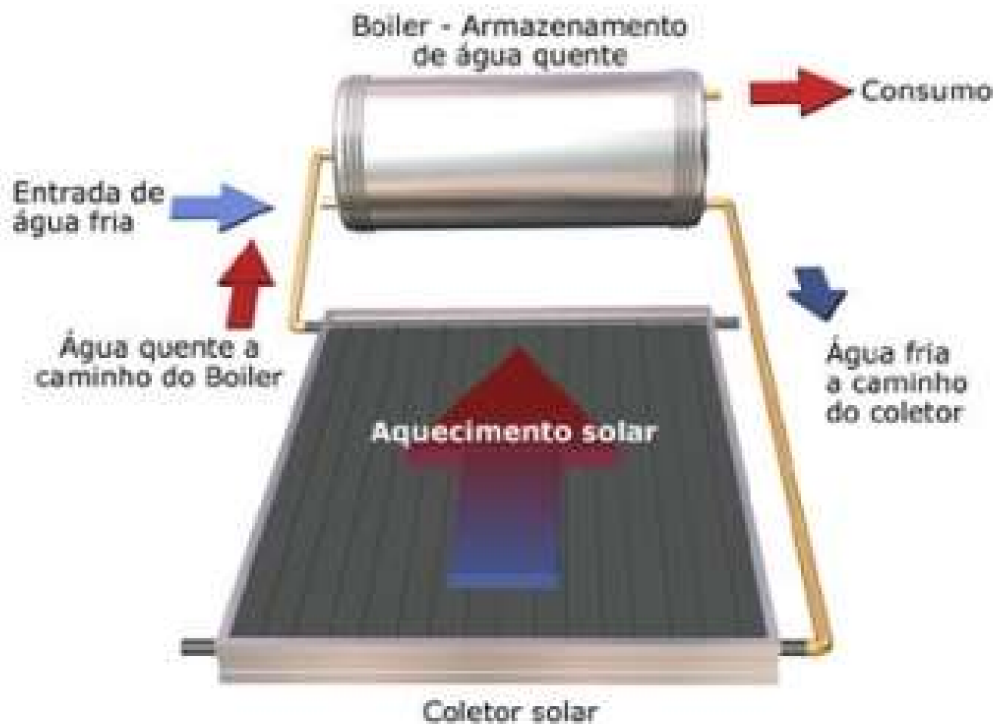


Figura. 19 – Esquema de funcionamento do sistema. Fonte: [www.solares-online.com.br](http://www.solares-online.com.br)

da demanda por água de qualidade, em contra partida, o uso não racional e sustentável da mesma vem causando sua escassez, uma vez que, interfere negativamente no seu ciclo hidrológico. Entre muitos impactos que a água vem sofrendo, a poluição e a escassez são as mais importantes atualmente. O homem vem há muito tempo poluindo os grandes reservatórios naturais de água, como os oceanos, rios e lagos. A poluição é também uma das responsáveis pela escassez de água, uma vez que contaminada, a água doce torna-se inapropriada para o uso humano. Com os esclarecimentos acerca do aumento do consumo da água, da sua poluição, e da sua eminente falta, fazem-se incontestável a criação de formas alternativas de aproveitamento da água, nesse contexto o uso de águas pluviais figura como uma das mais viáveis. Originalmente, algumas das antigas civilizações tinham na captação da água de chuva sua única forma de abastecimento de água potável. Contudo, os sistemas públicos de fornecimento de água foram ganhando espaço e hoje são as principais formas de abastecimento em todo o globo.

Recentemente sistemas de captação e utilização de água de chuva foram instalados no Estádio João Havelange, conhecido como Engenhão, construído para os Jogos Pan-americanos do Rio de Janeiro, em 2007, no Aeroporto Santos Dumont e na Cidade do Samba, todos localizados no Rio de Janeiro (CALHA, 2018). Em Salvador-Ba o Salvador Shopping adota, entre outras medidas de conservação da água, a captação de água de chuva. O sistema reservatório apresenta inúmeras vantagens como: diminui o risco de inundações, fornece economia de água potável na regagem de jardins, lavagem de veículos,



lavagem de roupas, uso em banheiros.

Segundo (LEAL, 2000), o sistema de aproveitamento de água de chuva funciona da seguinte maneira: a água é coletada de áreas impermeáveis, normalmente telhados. Em seguida, é filtrada e armazenada em reservatório(s) de acumulação, que pode ser apoiado, enterrado ou elevado e ser construído de diferentes materiais como: concreto armado, blocos de concreto, alvenaria de tijolos, aço, plástico, poliéster, polietileno e outros.

Segundo (TOMAZ, 2003), os parâmetros principais envolvidos no sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva são: área de coleta, quantidade de água a ser armazenada, qualidade da água, capacidade de armazenamento e confiabilidade. Dependendo do uso final da água coletada e do tratamento a ser aplicado, a coleta de água de chuva pode ser feita através de superfícies impermeabilizadas, localizadas ao nível do chão tais como pátios, calçadas, estacionamentos, etc. Nas figuras 20 observam-se as áreas de coleta com por exemplo telhados.

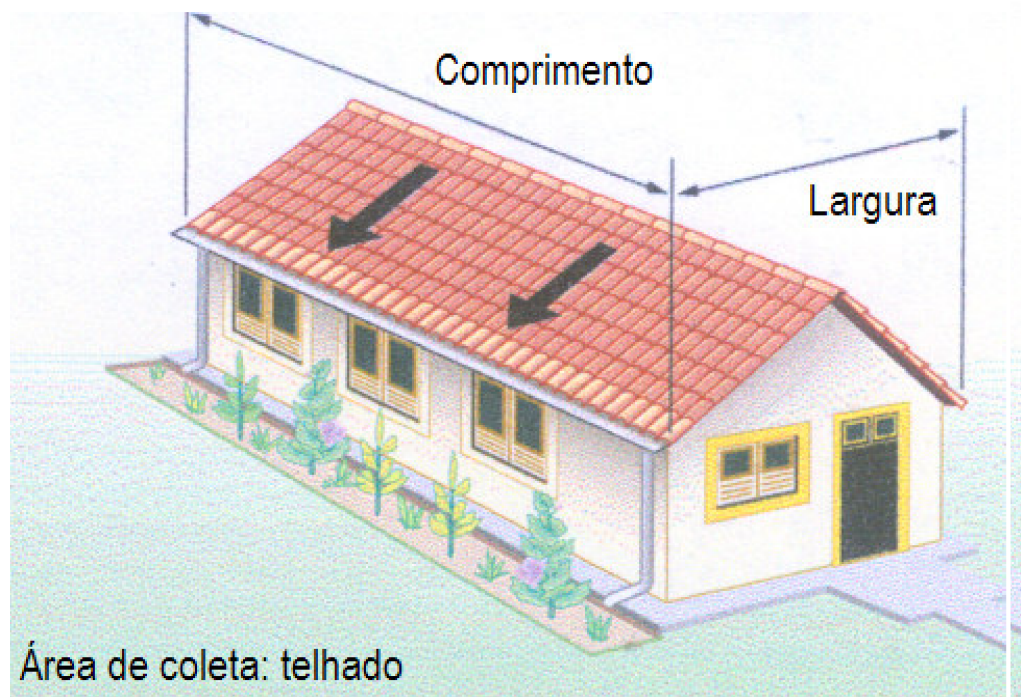


Figura. 20 – Área de coleta - telhado: comprimento x largura FONTE: Waterfall (2002)

Para não ocorrerem entupimentos nos condutores que levam a água até o reservatório de auto-limpeza ou outro dispositivo, o sistema de coleta de água de chuva deve conter um sistema de peneiras para a retirada de folhas e galhos. Para esse processo pode-se utilizar um dispositivo na saída da calha, uma grade que percorre toda a calha ou ainda uma grade na entrada de água do reservatório de auto-limpeza, como por exemplo o sistema apresentado na figura 21.

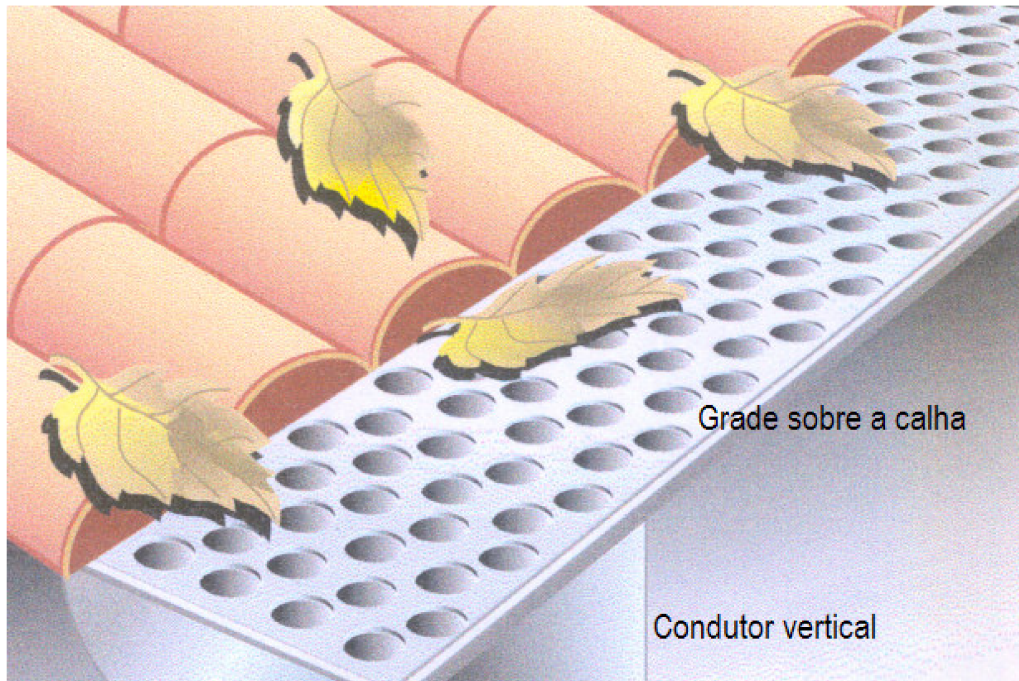


Figura. 21 – Sistema de grade localizada sobre a calha FONTE: Waterfall (2002)

Para a coleta de água de chuva é necessária a instalação de condutores verticais, condutores horizontais, dispositivos para descarte da água de limpeza do telhado e reservatório(s) de acumulação. Os condutores verticais e horizontais são equipamentos que na maioria dos casos, encontram-se instalados na edificação. Já os outros componentes como dispositivo para descarte e reservatório(s) deverão ser instalados. Na figura 22 é possível observar um esquema de coleta de água de chuva.

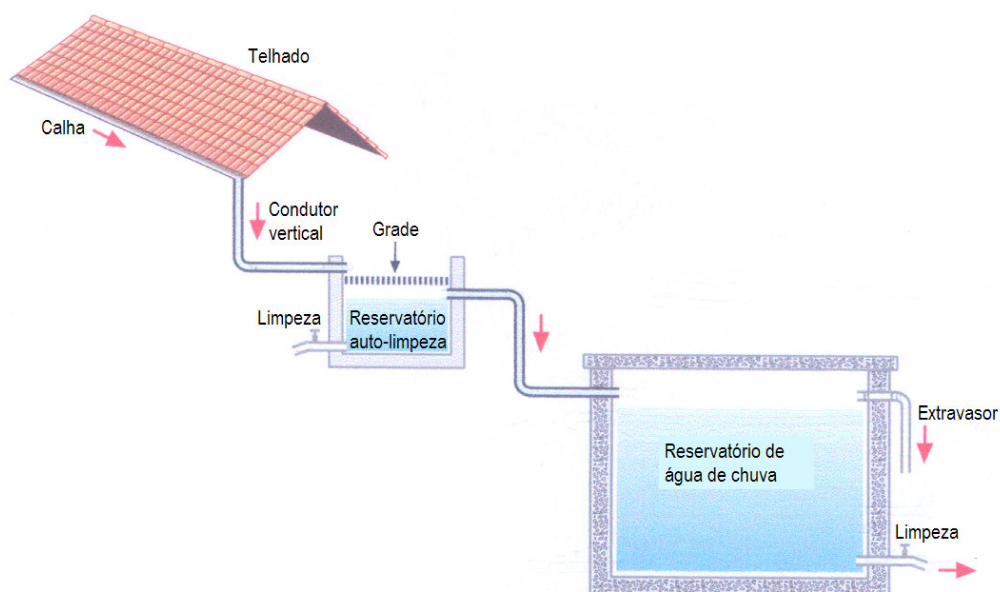


Figura. 22 – Esquema de coleta de água de chuva com reservatório de auto-limpeza FONTE: Tomaz (1998)

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 Identificação e Dados Gerais

A Escola Estadual De Ensino Fundamental Eduardo Vargas , localiza-se Rua Maurício Cardoso, 444,Cidade Alta, CEP 97545-000 no município de Alegrete - RS. Atualmente, a escola oferece ensino fundamental - anos iniciais e ensino fundamental anos finais e possui 305 alunos e 28 professores.

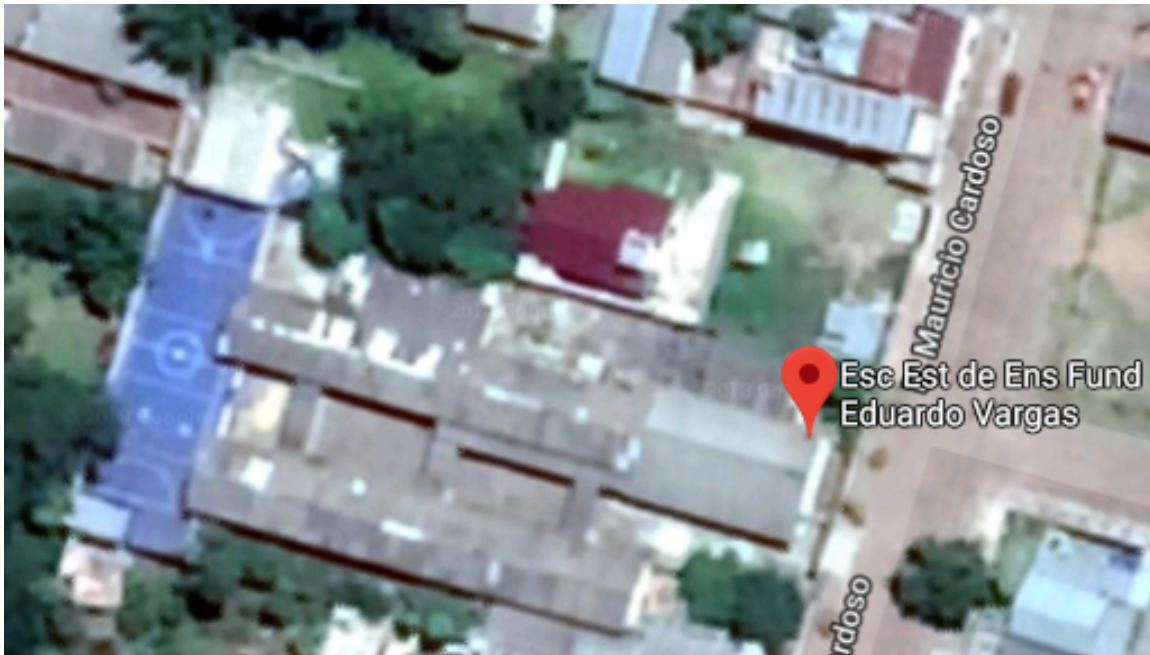


Figura. 23 – Vista Aérea da Escola Eduardo Vargas.

A vista aérea da escola, obtida com auxílio da ferramenta Google Earth, é demonstrada na figura 23.

Na Escola Eduardo Vargas será implementado um sistema de energia solar fotovoltaica, sistema de aquecimento térmico por coletores solares e captação de água da chuva como alternativa para redução de custos e de diversificação energética. A escola possui atualmente uma área útil de telhado de aproximadamente de  $720m^2$ . A planta da vista superior da escola é apresentada na figura 24.

##### 3.1.1 Dados instalações atuais

Para estimar-se qualquer potencial existente faz-se necessário primeiramente realizar um levantamento dos dados de faturamento da energia elétrica pela concessionária. Partindo desta premissa, relaciona-se a seguir as principais características cujo levantamento é relevante: Especificações do fornecimento de energia elétrica por parte da concessionária, como: Concessionária responsável, código do cliente, modalidade tarifaria, classe de fornecimento, entre outros; Dados de Consumo e Demanda, presentes nas faturas físicas de



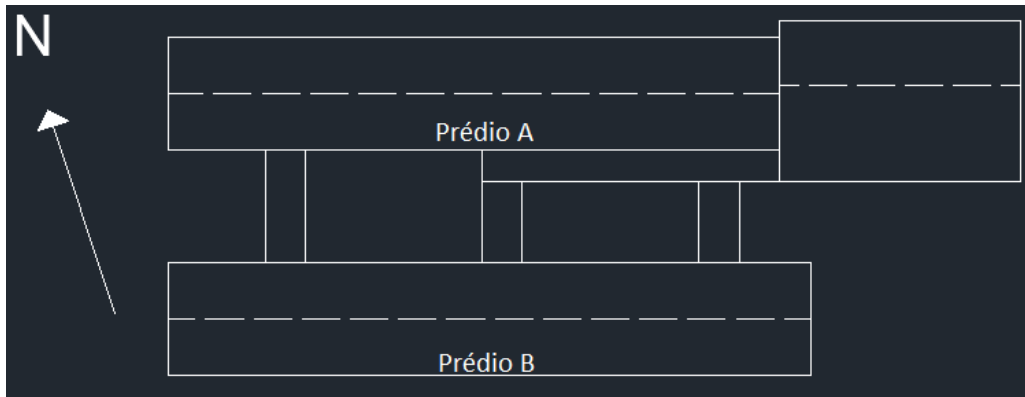


Figura. 24 – Planta da Vista Superior da Escola.

energia elétrica (Preferencialmente sobre os últimos 12 meses ou período maior); Valores monetários mensais referentes ao faturado no mesmo período; Valor da carga instalada na escola atualmente.

### 3.2 Dimensionamento da Mini Geração Solar

Antes de quaisquer outros dados, para projetar-se um sistema de mini geração solar é preciso comprovação de que o local escolhido tem suficiente potencial energético para exploração, do contrário o projeto fica inviabilizado. Portanto, alguns dos dados climatológicos relacionados a Alegrete, disponibilizados pelos Anais do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) em (INMET, 2009), são representados pela figura 26.

Ainda de acordo com (INMET, 2009), têm-se a média de irradiação solar Global, Inclinada e Direta, em cada período mensal, para Alegrete, exposta aqui através da figura 27.

Para uma melhor visualização, através dos dados da figura 27 é gerado o gráfico onde se demonstra o comportamento estatístico dos índices de irradiação ao longo do ano (INMET, 2009). Este gráfico é expresso através da figura 28.

Para complementar os dados supracitados, o (INMET, 2009) ainda ilustra um mapa nacional com a média do número de horas de insolação anual, aqui expresso pela figura 29.

Através da ferramenta online *SunEarthTools* citada anteriormente, foi traçada a carta solar para a localização da Escola em Alegrete (KAEHLER, 2017). Esta representação é ilustrada na figura 30.



Ano	Mês/Ano	Energia Convencional [R\$/kWh]			Consumo Energia Ponta [R\$]			PIS/PASEP & COFINS	Taxa Ilum. Pública – Prefeitura Municipal	Multa por atraso no pagamento	Recuperação de Consumo/Compensação Qualidade de Energia	TOTAL	Consumo Total	
		Verde	Amarela	Vermelha	Verde	Amarela	Vermelha							
2017	Abril			0,495531	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.267,07	-	R\$ 76,02	R\$ 20,95	R\$ -3,18	R\$ 1.360,86	2.557	
	Mai			0,448033	R\$ -	R\$ -	R\$ 611,11	R\$ 33,31	R\$ 36,66			R\$ 681,08	1.364	
	Junho	0,469832			R\$ 837,24	R\$ -	R\$ -	R\$ 20,67	R\$ 50,23			R\$ 908,14	1.782	
	Julho		0,461052		R\$ -	R\$ 763,04	R\$ -	R\$ 7,85	R\$ 45,78			R\$ 816,67	1.655	
	Agosto			0,476707	R\$ -	R\$ -	R\$ 748,90	R\$ 29,41	R\$ 44,93	R\$ 14,67		R\$ 837,91	1.571	
	Setembro		0,477353		R\$ -	R\$ 687,38	R\$ -	R\$ 26,17	R\$ 41,24			R\$ 754,79	1.440	
	Outubro			0,478498	R\$ -	R\$ -	R\$ 823,97	R\$ 18,27	R\$ 49,43			R\$ 865,85	1.722	
	Novembro			0,494520	R\$ -	R\$ -	R\$ 974,20	R\$ 44,40	R\$ 58,45		R\$ -25,82	R\$ 355,40	R\$ 1.432,45	1.970
	Dezembro			0,492686	R\$ -	R\$ -	R\$ 1.121,84	R\$ 21,49	R\$ 67,31		R\$ 355,38	R\$ 355,38	R\$ 1.566,02	2.277
	Janeiro	0,467957			R\$ 577,45	R\$ -	R\$ -	R\$ 38,23	R\$ 34,64	R\$ 30,75	R\$ 356,56	R\$ 1.037,63	1.234	
	Fevereiro	0,452020			R\$ 288,84	R\$ -	R\$ -	R\$ 25,06	R\$ 17,33		R\$ 355,38	R\$ 686,61	639	
	Março	0,452020			R\$ 1.154,91	R\$ -	R\$ -	R\$ 106,86	R\$ 69,29		R\$ 355,38	R\$ 1.686,44	2.555	
	<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 0,460457</b>	<b>R\$ 0,469203</b>	<b>R\$ 0,480996</b>	<b>R\$ 2.858,44</b>	<b>R\$ 1.450,42</b>	<b>R\$ 5.547,09</b>	<b>R\$ 371,72</b>	<b>R\$ 591,31</b>	<b>R\$ 66,37</b>	<b>R\$ 1.749,10</b>	<b>R\$ 12.634,45</b>	<b>20.766</b>	

Figura. 25 – Faturas Físicas de Energia da Escola, FONTE:(KAEHLER MICAEL MáRCIO OLIVEIRA, 2018).

Dados climatológicos para Alegrete (1961-1990)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima absoluta (°C)	39,6	39,3	38,7	35,1	33,8	30,6	31,3	34,2	34,3	36,2	38,4	39,8	39,8
Temperatura máxima média (°C)	31,3	30,8	28,7	25,4	22,2	19,7	19,7	20,8	22,6	25,1	28	30,6	25,4
Temperatura média (°C)	24,7	24,4	22,3	18,7	15,8	13,7	13,7	14,6	16,5	18,9	21,5	24	19,1
Temperatura mínima média (°C)	19,1	19	17,3	13,7	11	9	9,1	10	11,6	13,5	15,5	17,9	13,9
Temperatura mínima absoluta (°C)	9,2	9,2	6,2	2,5	0,2	-4,1	-3,8	-2,5	0,2	2,1	4,6	7	-4,1
Precipitação (mm)	135	137,9	160,4	125,5	130,9	93,9	115,2	90,8	130,2	158,4	87,9	126,1	1 492,2
Dias com precipitação (≥ 1 mm)	9	6	7	6	6	6	9	8	8	8	6	7	86
Umidade relativa (%)	68,6	71,8	75,3	77,1	79,6	80,6	79,7	75,8	73,7	71	67,2	65,1	73,8
Horas de sol Alegrete	273,4	247,1	232,8	207,5	196,3	155,1	164,7	185,2	186,6	239,9	276,1	296,4	2 661,1
Horas de Sol Médio Diário Por Mês	8,82	8,83	7,51	6,92	6,33	5,17	5,31	5,97	6,22	7,74	9,20	9,56	7,30
Dias do Mês	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30,42

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [10] [9] [12] [13] [14] [8] [15] [11] [16]

Figura. 26 – Dados Climatológicos de Alegrete, segundo o INMET.



Figura. 30 – Carta Solar para a Escola Eduardo Vargas.

Na planilha são considerados os dados de potencial solar específicos para Alegrete, sendo dados oficiais do INMET, o mais atualizado quanto possível. Estes dados são

IRRADIAÇÃO SOLAR Alegrete - RS kWh/Dia/m <sup>2</sup>			
Mês	Global	Inclinada	Direta
Janeiro	6,38	5,70	5,96
Fevereiro	5,88	6,02	5,21
Março	5,38	5,98	5,98
Abril	4,16	5,32	5,25
Mai	3,07	4,38	4,09
Junho	2,43	3,59	3,27
Julho	2,86	4,32	2,86
Agosto	4,11	5,48	5,63
Setembro	4,85	5,66	5,42
Outubro	4,90	5,05	4,24
Novembro	6,88	5,05	6,96
Dezembro	7,27	6,30	7,99
<b>Média</b>	<b>4,85</b>	<b>5,24</b>	<b>5,24</b>

Figura. 27 – Irradiação Solar média em Alegrete, segundo os anais do INMET.

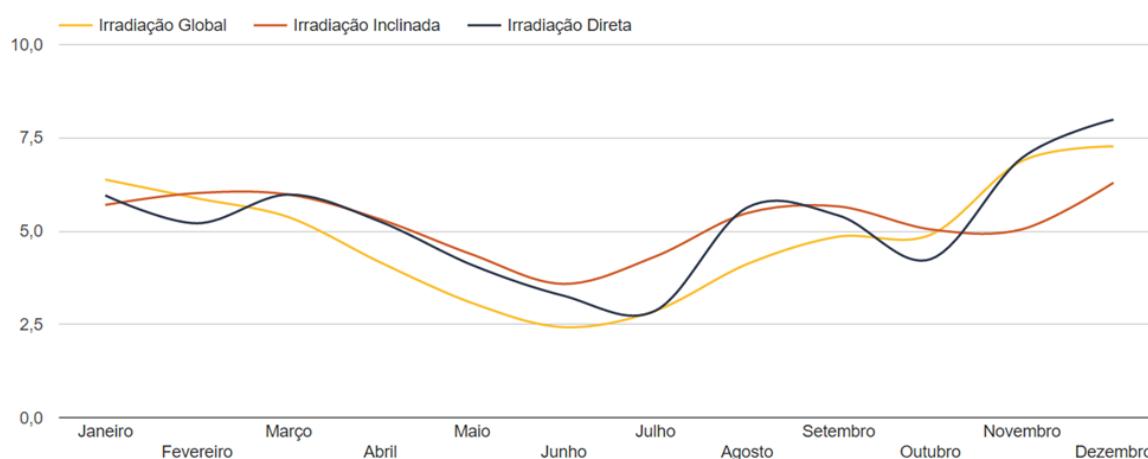


Figura. 28 – Gráfico da irradiação solar média, ao longo do ano [kWh/dia/m<sup>2</sup>].

expressos pelo quadro da figura 31.

INMET	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Potencial de Energia Solar Útil [kWh/mês]	208.352,88	193.221,50	199.067,99	170.722,13	161.557,04	124.717,01	155.614,71
Energia Solar Potencial Mensal [kWh/mês]	28.022,45	25.987,35	26.773,67	22.961,29	21.728,63	16.773,83	20.929,42
Faturamento Potencial Mensal	20.612,88	19.115,89	19.694,30	16.889,97	15.983,25	12.338,57	15.395,36
Dias do Mês	31	28	31	30	31	30	31
Energia Solar Útil [kWh/dia/m <sup>2</sup> ]	5,61	5,76	5,36	4,75	4,35	<b>3,47</b>	4,19

Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
169.356,35	176.832,18	199.810,78	228.947,36	234.721,96	<b>2.222.921,87</b>
22.777,60	23.783,07	26.873,58	30.792,30	31.568,96	<b>298.972,15</b>
16.754,85	17.494,46	19.767,79	22.650,34	23.221,64	<b>219.919,29</b>
31	30	31	30	31	<b>30,42</b>
4,56	4,92	5,38	<b>6,37</b>	6,32	<b>5,09</b>

Figura. 31 – Dados oficiais INMET considerados para determinar o Potencial Elétrico Solar em Alegrete.

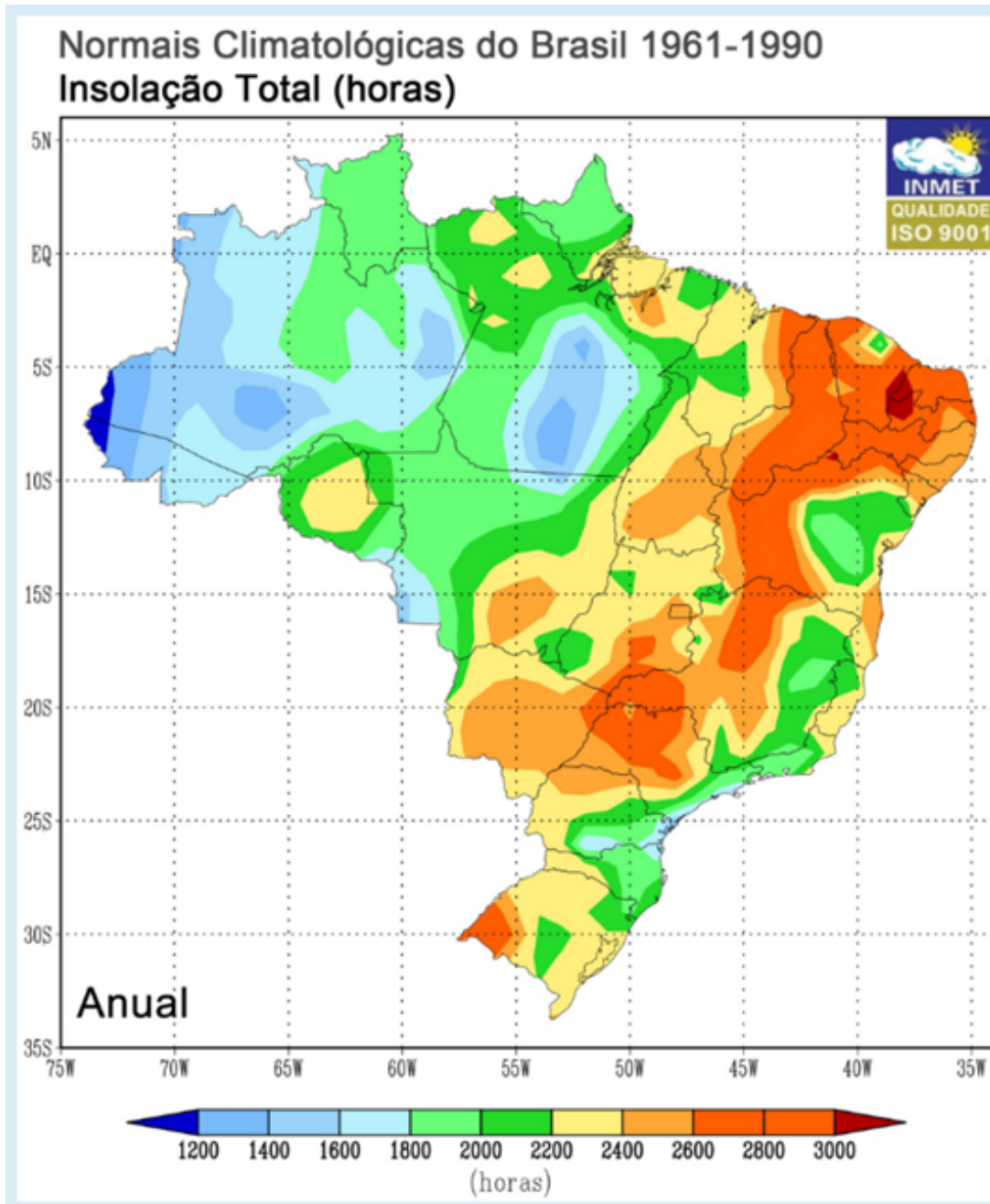


Figura. 29 – Número de horas de irradiação solar média, durante um ano.

### 3.3 Dimensionamento do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica

A potência gerada pela placa fotovoltaica especificada pelo fabricante, considera uma operação a temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ , exposta a uma irradiação de  $1000\text{W}/\text{m}^2$ . Para dimensionar de forma apropriada um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, deve-se considerar as variações de temperatura do local onde o mesmo é instalado, pois, a mesma impacta no rendimento dos módulos, onde é definido que a placa opera na média  $20^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura ambiente, caso considerado para a equação 3.1 onde "T" é temperatura ambiente. Já para a geração real é considerado a irradiação média mensal

no local onde a placas serão instaladas definida pela equação 3.2, onde "G" é a geração estimada em kWh e "I" é a irradiação média no local em W/m<sup>2</sup>.

$$Eficiencia = 1 - ((T - 25) + 20) * 0,00423 \quad (3.1)$$

$$GeraçãoReal = G * I/1000 \quad (3.2)$$

Foi considerado para estimativa da geração fotovoltaica uma eficiência de 90% do sistema ON-GRID. Usando o *software* EXCEL foi montada uma tabela que determina a energia gerada por dia em função da potência instalada de geração. Utilizando a função "Attingir Meta" foi definido a potência instalada para gerar 56,9kWh/dia, atendendo a demanda de 20.767kWh anual. Na figura 32 é apresentado a geração média mensal para a potência instalada de 13,25kW, que atende a demanda esperada.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
Dias no mês (dia)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30,42
Hora de Sol (h)	8,82	8,83	7,51	6,92	6,33	5,17	5,31	5,97	6,22	7,74	9,2	9,56	7,30
Temperatura (°C)	24,7	24,4	22,3	18,7	15,8	13,7	13,7	14,8	16,5	18,9	21,5	24	19,08
Eficiencia	83%	83%	83%	85%	86%	87%	87%	86%	86%	85%	84%	83%	85%
Pontecia Pico (Wp)	10931,92	10947,06	11052,99	11234,60	11380,89	11486,83	11486,83	11431,34	11345,58	11224,51	11093,35	10967,23	11215,26
Produção-1000W/m <sup>2</sup> (KWh)	96,42	96,66	83,01	77,74	72,04	59,39	61,00	68,25	70,57	86,88	102,06	104,85	81,57119
Irradiação (kWh/dia/m <sup>2</sup> )	5,61	5,76	5,36	4,75	4,35	3,47	4,19	4,56	4,92	5,38	6,37	6,32	5,09
Radiação (W/m <sup>2</sup> )	636,05	652,32	713,72	686,42	687,20	671,18	789,08	763,82	791,00	695,09	692,39	661,09	703,28
Geração Real (KWh)	61,33	63,06	59,24	53,36	49,51	39,86	48,13	52,13	55,82	60,39	70,66	69,31	56,90

Figura. 32 – Dados de Geração Mensal Estimada.

De acordo com os dados planilhados acessados através da escola, a tarifa considerada é de 0,59R\$/kWh, RGE Sul (Rio Grande Energia), para uma necessidade energética anual de aproximados 20.767kWh. O emprego de um sistema de 50 placas de 265W supri portanto toda a demanda energética da escola e ocupando uma área de 80m<sup>2</sup> dos 161m<sup>2</sup> disponíveis do lado norte do telhado do prédio A. Para isto, devem ser consideradas as especificações da figura 33.

Potência de Placas	13,25	kW
Eficiência do Projeto Fotovoltaico (inferência padrão)	16,56%	%
Índice Solarimétrico Local	5,09	kWh/dia/m <sup>2</sup>
Horas Médias de Insolação	7,3	horas
Energia Produzida Dia	56,9	kWh/dia
Energia Produzida Ano	20768,5	kWh/ano
Tarifa Residencial Bandeira Média das Bandeiras	R\$ 590,00	R\$/MWh
Faturamento Anual	R\$ 12.253,42	R\$

Figura. 33 – Dados para o Sistema de Energia Solar Fotovoltaica.

### 3.3.1 Investimento em Equipamentos para Instalação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica

Com base nos dados coletados, o sistema proposto para a Escola Estadual de Ensino Fundamental em estudo é composto dos equipamentos descritos na figura 34, com os respectivos investimentos necessários foram retirados do sistema SINAPE utilizado para orçamentos em editais de instituições públicas.

Material	Quant.	Valor R\$ (un.)	Valor Total (R\$)
Painel Solar	50	R\$ 518,67	R\$ 25.933,44
Inversor "on grid" potência de 14kW	1	R\$ 15.619,88	R\$ 15.619,88
Suporte de Fixação de painéis	50	R\$ 120,00	R\$ 6.000,00
Interligação com a Rede de Energia Existente	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Painel de Proteção e Distribuição de Energia Fotovoltaica	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
Instalações Elétricas das Placas Fotovoltaicas	1	R\$ 7.750,00	R\$ 7.750,00
Projeto Elétrico	1	R\$ 3.500,00	R\$ 3.500,00
Total			R\$61.503,32

Figura. 34 – Dados dos Equipamentos para Instalação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica.

Os painéis solares, descritos na figura 34, serão instalados na parte superior, sobre o telhado da edificação, os quais estarão calçados por suportes de sustentação fixados na própria edificação. Verifica-se que o investimento em equipamentos para instalação do sistema e geração de energia através de painéis fotovoltaicos, conforme pode ser visualizado na figura 34, é de R\$ 61.503,32.

### 3.3.2 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica

Ao considerar um custo do kWh de R\$ 0,59 a possibilidade de geração média diária do sistema é de 56,9 kWh/dia é possível economizar anualmente R\$ 12.253,42 logo abaixo apresenta o fluxo de caixa projetado para o período de 11 anos, utilizando como base uma TMA 8% referente ao índice médio de inflação no Brasil nos últimos 20 anos e também um acréscimo anual de 5% na tarifa da concessionária, conforme pode ser visualizado na figura 35.

Anos	Investimentos	Economia Futura Energia Elétrica	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	Payback descontado
0	-R\$61.503,32	-R\$61.503,32	-R\$61.503,32	-R\$61.503,32	-R\$61.503,32
1		R\$ 13.047,08	R\$ 12.080,63	R\$11.185,77	-R\$ 50.317,55
2		R\$ 13.699,44	R\$ 11.745,06	R\$10.357,20	-R\$ 39.960,35
3		R\$ 14.384,41	R\$ 11.418,81	R\$9.590,00	-R\$ 30.370,36
4		R\$ 15.103,63	R\$ 11.101,62	R\$8.879,63	-R\$ 21.490,73
5		R\$ 15.858,81	R\$ 10.793,24	R\$8.221,88	-R\$ 13.268,86
6		R\$ 16.651,75	R\$ 10.493,43	R\$7.612,85	-R\$ 5.656,01
7		R\$ 17.484,34	R\$ 10.201,94	R\$7.048,93	R\$ 1.392,92
8		R\$ 18.358,56	R\$ 9.918,56	R\$6.526,79	R\$ 7.919,71
9		R\$ 19.276,48	R\$ 9.643,04	R\$6.043,32	R\$ 13.963,04
10		R\$ 20.240,31	R\$ 9.375,18	R\$5.595,67	R\$ 19.558,71
11		R\$ 21.252,32	R\$ 9.114,76	R\$5.181,18	R\$ 24.739,88

Figura. 35 – Dados da Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica.

Os resultados demonstram um tempo de recuperação do investimento de R\$ 61.503,32 em 7 anos, mostrando que o projeto é viável dentro do período analisado. Além de que seriam economizado um valor de R\$ 106.199,46 reais, representando uma taxa de retorno interno de 15%.

### 3.4 Estudo de Caso para Eficiência Energética do Sistema de Iluminação

O Grupo Exploração Integrada de Recursos Energéticos sobre orientação do Professor Dr. José Wagner, realizou o estudo de eficiência energética, visando os sistemas de iluminação e ar-condicionados da escola Eduardo Vargas. O estudo analisou a substituição das lâmpadas do tipo fluorescentes por lâmpadas mais eficientes do tipo LED e substituição de uma parcela dos ar-condicionados.

#### 3.4.1 Substituição por Lâmpadas LED

Foram analisadas a substituição das luminárias de 9 salas de aulas, Pátio Principal, Biblioteca, Informática, Secretaria, Direção e Refeitório, totalizando 71 luminárias. Conforme figura 36, as luminárias atuais possuem uma potência instalada de 5911W e representam um custo anual de R\$ 4.143,14 reais considerando uma tarifa de 0,59R\$/kWh.

Luminárias Fluorescentes		
Potência	5911	W
Horas diárias	6	horas/dia
Custo kWh	0,59	R\$/kWh
Número de dias	198	dias
Total anual	4143,14	R\$/ano
Demanda anual	7022,268	kWh

Figura. 36 – Dados do Sistema de Iluminação da Escola Eduardo Vargas.

No estudo foi considerado a substituição das luminárias por duas lâmpadas LED modelo PHILIPS apresentadas na figura 37. Serão necessário utilizar um total de 142 lâmpadas, os dados da implantação são apresentados na figura 38. Com um custo de instalação de R\$ 6486,56, o custo anual será reduzido para R\$ 1.791,55 considerando uma tarifa de 0,59R\$/kWh.

Marca	Modelo	Tensão [V]	Fluxo Luminoso [lm]	Potência [W]	Vida[h]
PHILIPS	Master LEDTube 1200mm 18W 865 T8   W	100 - 240	2100	18	25000

Figura. 37 – Dados das Lâmpadas LED a Serem Utilizadas.

Instalação de Luminarias LED			
	Unitário	TOTAL	Unidade
Lampadas	1	142	
Custo Unitário	35,68	5066,56	R\$
Mão de obra	10	1420	R\$
Potência	18	2556	W
Custo kWh	0,59	0,59	R\$/kWh
Número de dias	198	198	dias
Horas diarias	6	852	horas/dia
Total Anual	12,62	1791,55	R\$/ano
Demanda anual	21,384	3036,528	kWh

Figura. 38 – Dados da Implantação do Sistema de Iluminação LED.

Desta forma será gerado uma economia de R\$2.351,59 por ano e na figura 39 é apresentado o estudo de viabilidade econômica considerando um TMA 6,5%. Onde pode-se observar que o investimento será recuperado em 4 anos, além de reduzir a demanda anual da escola para 16.781,26 kWh.

Anos	Investimentos	Economia Fatura Energia Elétrica	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	Payback descontado
0	-R\$ 6.486,56		-R\$ 6.486,56	-R\$ 6.486,56	-R\$ 6.486,56
1		R\$ 2.351,59	R\$ 2.351,59	R\$2.208,06	-R\$ 4.278,50
2		R\$ 2.351,59	R\$ 2.351,59	R\$2.073,30	-R\$ 2.205,20
3		R\$ 2.351,59	R\$ 2.351,59	R\$1.946,76	-R\$ 258,44
4		R\$ 2.351,59	R\$ 2.351,59	R\$1.827,94	R\$ 1.569,50

Figura. 39 – Viabilidade Econômica da Implantação Sistema de Iluminação LED.

### 3.4.2 Substituição dos Ar-Condicionados

Foram analisados a substituição de 11 dos 15 ar-condicionados existentes na escola Eduardo Vargas por equipamentos mais eficientes e novos apresentados na figura 40.



Marca	Potência	Funcionamento	Inmetro / Procel	Eficiência Energética [Wm/We]	Potência Elétrica[W]
Philco	12000	Reverso	A	3,29	1068,69

Figura. 40 – Dados dos Equipamento Ser Instalado.

A potência instalada atual é de 18.807,18 kW, com a substituição a potência instalada será reduzida para 17.006,32 kW. Considerando uma utilização diária de 6 horas dos ar-condicionados a demanda anual será reduzida em 2139,42kWh ano. Considerando que o preço unitário é de R\$1.092,00 e mão a de obra de instalação é de R\$150,00, totalizando 11 unidades temos um custo R\$ 11.755,6 reais. Para a análise de viabilidade foi considerado uma tarifa de 0,59R\$/kWh e TMA 6,5%. Obteve-se uma economia anual de R\$1.262,26, no entanto não será obtido o retorno financeiro do investimento dentro do período de 11 anos, tornado o projeto inviável. Assim não será considerado no dimensionamento da micro geração fotovoltaica com análise da eficiência energética.

### 3.5 Dimensionamento do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica Considerando a Análise de Eficiência Energética

Assumindo os valores apresentados na Seção 3.4, podemos considerar uma nova demanda anual para a Escola Eduardo Vargas de 16.781,26 kWh, o que impactará em uma micro-geração menor, pois será necessário gerar apenas 45,97kWh/dia. A figura 41 apresenta a nova estimativa geração para a potência instalada de 10,86kW que deve cobrir 100% da nova demanda. Os valor de potência instalada foi determinado utilizando os mesmos parâmetros apresentados na Seção 3.3.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
Dias no mês (dia)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30,42
Hora de Sol (h)	8,82	8,83	7,51	6,92	6,33	5,17	5,31	5,97	6,22	7,74	9,2	9,56	7,30
Temperatura (°C)	24,7	24,4	22,3	18,7	15,8	13,7	13,7	14,8	16,5	18,9	21,5	24	19,08
Eficiência	83%	83%	83%	85%	86%	87%	87%	86%	86%	85%	84%	83%	85%
Pontecia Pico (Wp)	8963,65	8976,06	9062,92	9211,83	9331,78	9418,64	9418,64	9373,14	9302,82	9203,55	9096,01	8992,60	9195,97
Produção-1000W/m² (KWh)	79,06	79,26	68,06	63,75	59,07	48,69	50,01	55,96	57,86	71,24	83,68	85,97	66,88443
Irradiação (kWh/dia/m²)	5,61	5,76	5,36	4,75	4,35	3,47	4,19	4,56	4,92	5,38	6,37	6,32	5,09
Radiação (W/m²)	636,05	652,32	713,72	686,42	687,20	671,18	789,08	763,82	791,00	695,09	692,39	661,09	703,28
Geração Real (KWh)	50,29	51,70	48,58	43,76	40,59	32,68	39,46	42,74	45,77	49,52	57,94	56,83	46,66

Figura. 41 – Dados da Análise Econômica da Substituição dos Ar-Condicionados.

De acordo com os dados planilhados acessados através da escola, a tarifa considerada é de 0,59R\$/kWh, RGE Sul (Rio Grande Energia), para uma necessidade energética anual de aproximados 17.029,17kWh. O emprego de um sistema de 41 placas de 265W com 1,6m<sup>2</sup>, supri portanto toda a demanda energética da escola e ocupando uma área de 67m<sup>2</sup> dos 161m<sup>2</sup> disponíveis do lado norte do telhado do prédio A. Para isto, devem ser consideradas as especificações da figura 42.

Potência de Placas	10,865	kW
Eficiência do Projeto Fotovoltaico (inferência padrão)	16,56%	%
Índice Solarimétrico Local	5,09	kWh/dia/m <sup>2</sup>
Horas Médias de Insolação	7,3	horas
Energia Produzida Dia	46,66	kWh/dia
Energia Produzida Ano	17029,17	kWh/ano
Tarifa Residencial Bandeira Média das Bandeiras	R\$ 590,00	R\$/MWh
Faturamento Anual	R\$ 10.047,21	R\$

Figura. 42 – Dados da Análise Econômica da Substituição dos Ar-Condicionados.

### 3.5.1 Investimento em Equipamentos para Instalação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica

Com base nos dados coletados, o sistema proposto considerando a nova demanda para a Escola Estadual de Ensino Fundamental Eduardo Vargas em estudo é composto dos equipamentos descritos na figura 43.

Material	Quant.	Valor R\$ (un.)	Valor Total (R\$)
Painel Solar	41	R\$ 518,88	R\$ 21.274,16
Inversor "on grid" potência de 14kW	1	R\$ 14.100,00	R\$ 14.100,00
Suporte de Fixação de painéis	41	R\$ 120,00	R\$ 4.920,00
Interligação com a Rede de Energia Existente	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Painel de Proteção e Distribuição de Energia Fotovoltaica	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
Instalações Elétricas das Placas Fotovoltaicas	1	R\$ 7.750,00	R\$ 7.750,00
Projeto Elétrico	1	R\$ 3.500,00	R\$ 3.500,00
Total			R\$54.244,16

Figura. 43 – Dados dos Equipamentos para Instalação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica Nova Demanda.

Os painéis solares, descritos na figura 43, serão instalados na parte superior, sobre o telhado da edificação, os quais estarão calçados por suportes de sustentação fixados na própria edificação. Verifica-se que o investimento em equipamentos para instalação do sistema e geração de energia através de painéis fotovoltaicos, conforme pode ser visualizado na figura 43, é de R\$ 54.244,16. Se considerarmos as despesas com a instalação das lâmpadas LED, estimadas em R\$ 6.486,56, terá um investimento de R\$ 60.730,72.

### 3.5.2 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica

Ao considerar um custo do kWh de R\$ 0,59 a possibilidade de geração média diária do sistema é de 45,97 kWh/dia é possível economizar anualmente R\$10.047,21, somando a economia da eficiência energética temos um total de R\$ 12.541,18, conforme apresentado no fluxo de caixa projetado para o período de 11 anos, utilizando como base uma TMA

8% referente ao índice médio de inflação no Brasil nos últimos 20 anos e também um acréscimo de 5% da tarifa da concessionária, conforme pode ser visualizado na figura 44.

Anos	Investimentos	Economia Fatura Energia Elétrica	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	Payback descontado
0	-R\$60.730,72	-R\$60.730,72	-R\$60.730,72	-R\$60.730,72	-R\$60.730,72
1	R\$	13.168,24	R\$ 12.192,81	R\$11.289,64	-R\$ 49.441,08
2	R\$	13.826,65	R\$ 11.854,12	R\$10.453,37	-R\$ 38.987,71
3	R\$	14.517,98	R\$ 11.524,84	R\$9.679,05	-R\$ 29.308,67
4	R\$	15.243,88	R\$ 11.204,71	R\$8.962,08	-R\$ 20.346,59
5	R\$	16.006,07	R\$ 10.893,46	R\$8.298,22	-R\$ 12.048,36
6	R\$	16.806,38	R\$ 10.590,87	R\$7.683,54	-R\$ 4.364,82
7	R\$	17.646,70	R\$ 10.296,68	R\$7.114,39	R\$ 2.749,56
8	R\$	18.529,03	R\$ 10.010,66	R\$6.587,40	R\$ 9.336,96
9	R\$	19.455,48	R\$ 9.732,59	R\$6.099,44	R\$ 15.436,40
10	R\$	20.428,26	R\$ 9.462,24	R\$5.647,63	R\$ 21.084,03
11	R\$	21.449,67	R\$ 9.199,40	R\$5.229,29	R\$ 26.313,32

Figura. 44 – Dados da Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica.

Os resultados demonstram um tempo de recuperação do investimento de R\$60.730,72 em 7 anos, mostrando que o projeto é viável dentro do período analisado. Além de que seriam economizado um valor de R\$ 107.646,70 reais, representando uma taxa de retorno interno de 15,67%.

### 3.6 Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Térmico por Coletores

A presente seção tem por objetivo dimensionar sistema de aquecimento solar de água para uma escola, e avaliar a viabilidade econômica para a sua implementação. A escola possui duas torneiras elétricas com potência instalada de 5,5kW, com duração média de uso de 120minutos. Para o dimensionamento do sistema de aquecimento térmico devem ser consideradas algumas especificações descritas na figura 45.

Especificações	Quant.	Total	Unidade
Torneira Elétrica	2	2	
Potência	5,5	11	kW
Vazão	3	6	L/min
Tempo de Consumo	60	120	mim
Litros de Água	180	360	Litros
Consumo	5,5	11	kWh
Custo do kWh	0,59	0,59	R\$/kWh
Nº de dias no mês	20	20	
Custo Mensal	R\$ 64,90	R\$ 129,80	R\$
Custo Anual	R\$ 778,80	R\$ 1.557,60	R\$

Figura. 45 – Dados do Sistema de Aquecimento Térmico por Coletores.

Levando em consideração um valor de 0,59 R\$/kWh, temos um gasto anual de R\$ 1.557,60 com o aquecimento de água, levando em consideração um consumo diário de 380L de água.

Para o dimensionamento foi considerado a temperatura média de anual de Alegrete 19,1°C, a vazão diária correspondente em 400L de água. A equação 3.3 determina a quantidade de energia em kWh/dia são necessários para aquecer o volume de água desejado. Como se trata de uma aplicação industrial, a temperatura desejada será definida em 65 °C.

$$E = \frac{V \cdot \rho \cdot Cp \cdot (T_f - T_i)}{3600} \quad (3.3)$$

Onde, "V" é o volume de água a ser aquecido; "ρ" é a massa específica da água; "Cp" é o calor específico da água; "T<sub>f</sub>" temperatura final e "T<sub>i</sub>" temperatura inicial da água.

$$E = \frac{400 \cdot 1 \cdot 4.18 \cdot (65 - 19.1)}{3600} = 21.381 \text{ kWh/dia}$$

De acordo com os dados fornecidos pelo IMETRO a média de produção solar produzida pelos coletores é de 128,8kWh/mês para um coletor de 1,85m<sup>2</sup>, logo a produção diária é de 4,293kWh/dia. Assim o número de coletores é dado pela equação 3.4, onde "N" é número de coletores, "P" é produção diária do coletor, "E" é a energia necessária, "I" é a irradiação média do local.

$$E = \frac{E}{P \cdot I} = \frac{21.381}{4.293 \cdot 0.703} = 7,1 \simeq 8 \quad (3.4)$$

Assim são necessários um total de 8 coletores para fazer o aquecimento da água para a utilização de 400 litros de água diários que ocuparam cerca de 15m<sup>2</sup> do telhado. Junto com o valor da fotovoltaica será ocupado um total de 51% do lado norte do prédio A.

### 3.6.1 Investimento em Equipamentos para Instalação do Sistema de Aquecimento Térmico por Coletores

A escolha do número de coletores, para escola, é feita em função da análise de viabilidade econômica, ou seja, em termos da maior taxa interna de retorno calculada e *Payback*. O investimento é considerado como sendo a soma do custo dos coletores, da bomba hidráulica e do reservatório. O rendimento é dado em termos da economia com a fatura de eletricidade, pelo período de 11 anos. Com base nos dados coletados, o sistema proposto para a Escola Estadual de Ensino Fundamental em estudo é composto dos equipamentos descritos na figura 46 , com os respectivos investimentos necessários.

Material	Quant.	Valor R\$ (un.)	Valor Total (R\$)
Tanque de Armazenagem de 400 litros	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Placas Coletoras	8	R\$ 550,00	R\$ 4.400,00
Moto Bomba	1	R\$ 400,00	R\$ 400,00
Encanamento	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Instalações dos Coletores	8	R\$ 155,00	R\$ 1.240,00
Total			R\$ 9.040,00

Figura. 46 – Dados dos Equipamentos para Instalação do Sistema de Aquecimento Térmico por Coletores.

Foram adotados um total de 8 coletores para possibilitar o aquecimento do volume de água desejado em até  $65^{\circ}\text{C}$  (TUGOZ; BERTOLINI; BRANDALISE, 2017). O valor total o investimento R\$ 9.040,00 compreendendo os custos dos equipamentos, mão de obra de instalação e adequação das instalações foram retirados do sistema SINAPE utilizado para orçamentos em editais de instituições públicas. .

### 3.6.2 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Aquecimento Térmico por Coletores

A figura 47 apresenta o fluxo de caixa projetado para o período de 11 anos, considerando um valor de 0,59 R\$/kWh e uma taxa de TMA de 8% ao anos, correspondente a inflação média no Brasil nos últimos 20 anos e também um acréscimo anual de 5% .

Anos	Investimentos	Economia Fatura Energia Elétrica	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	Payback descontado
0	-R\$ 9.040,00	-R\$ 9.040,00	-R\$ 9.040,00	-R\$ 9.040,00	-R\$ 9.040,00
1		R\$ 1.658,49	R\$ 1.535,64	R\$1.421,89	-R\$ 7.618,11
2		R\$ 1.741,41	R\$ 1.492,98	R\$1.316,56	-R\$ 6.301,55
3		R\$ 1.828,48	R\$ 1.451,51	R\$1.219,04	-R\$ 5.082,52
4		R\$ 1.919,91	R\$ 1.411,19	R\$1.128,74	-R\$ 3.953,78
5		R\$ 2.015,90	R\$ 1.371,99	R\$1.045,13	-R\$ 2.908,65
6		R\$ 2.116,70	R\$ 1.333,88	R\$967,71	-R\$ 1.940,94
7		R\$ 2.222,53	R\$ 1.296,83	R\$896,03	-R\$ 1.044,91
8		R\$ 2.333,66	R\$ 1.260,80	R\$829,66	-R\$ 215,25
9		R\$ 2.450,34	R\$ 1.225,78	R\$768,20	R\$ 552,95
10		R\$ 2.572,86	R\$ 1.191,73	R\$711,30	R\$ 1.264,25
11		R\$ 2.701,50	R\$ 1.158,63	R\$658,61	R\$ 1.922,86

Figura. 47 – Dados da Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Aquecimento Térmico por Coletores.

Pode-se observar na figura 47, que retorno do investimento de R\$ 9.040,00 sendo em 9 anos, tornando o projeto viável dentro do período de análise. O projeto possibilita a economia de R\$ 18.287,42, o que representa uma taxa de retorno interna de 16%.

### 3.7 Dimensionamento do Sistema de Captação da Água da Chuva

Sabendo que a escola possui 305 alunos e 28 professores, podemos estimar que uso médio do banheiro em 20 metros cúbicos mensais, onde se pretende utilizar a água armazenada da chuva. Considerando que a taxa de utilização do banheiro seja de 15% da população da escola, e que cada descarga consuma 20 litros de água. Pelos dados fornecidos pela Corsan (Companhia Riograndense de Saneamento) empresa responsável pela água potável do município de Alegrete- RS, a tarifa cobrada para edificações públicas é de 5,95R\$/  $m^3$ .

Para estimar o volume de água armazenada, utilizou-se o método de Azevedo Neto, onde:

- P = é o valor numérico da precipitação média anual;
- A = é o valor numérico da área de coleta em projeção;
- T = é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca;
- V = é o valor numérico do volume da água aproveitável o volume.

Onde pode ser visto na equação abaixo.

$$V = 0,042 \cdot P \cdot A \cdot T$$

Considerando uma área de captação de  $511m^2$ , o corresponde a coleta do telhado do prédio B e um dos lados do telhado do prédio A. É a média do volume de chuva é  $124mm$  e 7 meses de pouca chuva ou seca, este dados são encontrados na figura 26. Podemos estimar um volume de chuva de 18.629,016 litros, onde estão sendo demonstrados pela equação:

$$V = 0,042 \cdot 124 \cdot 511 \cdot 7 = 18.629,016 \text{ l}$$

Pode-se observar que a quantidade de água captada de 18.629,016 litros, não cobre todo o volume de água estimado para o consumo dos banheiros da escola.

#### 3.7.1 Investimento em Equipamentos para Instalação do Sistema de Captação da Água da Chuva

Com base nos dados coletados, o sistema implementado proposto para a Escola em estudo é composto dos equipamentos descritos na figura 48, com os respectivos investimentos necessários.

Material	Quant.	Valor R\$ (un.)	Valor Total (R\$)
Caixa d'água 20.000 litros	1	R\$ 6.223,58	R\$ 6.223,58
Caixa d'água 500 litros	1	R\$ 250,00	R\$ 250,00
Moto Bomba	1	R\$ 400,00	R\$ 400,00
Adequação encanamento	1	R\$ 700,00	R\$ 700,00
Calha	133	R\$ 12,00	R\$ 1.596,00
Total			R\$ 9.169,58

Figura. 48 – Dados dos Equipamentos para Instalação do Sistema de Captação da Água da Chuva

Conforme apresentado na figura 48, será necessário um investimento de R\$ 9.169,58, considerando a instalação dos equipamentos, adequação do telhado e encanamento da escola, além da mão de obra para a execução do serviço.

### 3.7.2 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Captação da Água da Chuva

A figura 49 apresenta o fluxo de caixa projetado para o período de 11 anos, considerando uma taxa de 5,95 R\$/m<sup>3</sup> de água e uma taxa TMA de 6,5R\$/ ao ano, referente a inflação média dos últimos 20 anos no Brasil.

Anos	Investimentos	Economia Fatura da Água	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	Payback descontado
0	-R\$ 9.169,58		-R\$ 9.169,58	-R\$ 9.169,58	-R\$ 9.169,58
1		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$1.254,82	-R\$ 7.914,76
2		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$1.183,79	-R\$ 6.730,96
3		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$1.116,79	-R\$ 5.614,18
4		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$1.053,57	-R\$ 4.560,60
5		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$993,94	-R\$ 3.566,67
6		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$937,68	-R\$ 2.628,99
7		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$884,60	-R\$ 1.744,39
8		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$834,53	-R\$ 909,86
9		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$787,29	-R\$ 122,57
10		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$742,73	R\$ 620,16
11		R\$ 1.330,11	R\$ 1.330,11	R\$700,69	R\$ 1.320,84

Figura. 49 – Dados da Análise da Viabilidade Econômico-Financeira do Sistema de Captação da Água da Chuva.

Pode-se observa na figura 49 que o investimento de R\$ 9.169,58 é retornado em 10 anos, tornando o projeto viável dentro do período analisados. Considerando uma economia de R\$ 1.330,11 X 10 ou seja R\$13.301,1 , com uma taxa de retorno interno de 8,73%.





## CONCLUSÃO

Foram realizados os projetos e estudos de viabilidade econômica dos sistemas de energia solar fotovoltaica sem considerar e considerando o estudo de eficiência energética, sistema de aquecimento térmico por coletores e sistema de captação de água da chuva. Todos os projetos foram viáveis dentro de um período de análise de 11 anos considerando uma TMA de 8%.

O sistema de energia solar fotovoltaica foi dimensionado considerando a consumo anual de 20.767kWh, o projeto prévio o uso de 50 placas com uma potência instalada de 13,25kW, ocupando uma área de 80m<sup>2</sup> com um custo de R\$ 61.503,32. reais. O retorno do investimento foi estimado em 7 anos com uma economia de R\$ 106.199,46 e uma TIR 15%, mostrando que projeto é viável. Para diminuir o investimento foi utilizado o estudo de eficiência energética da Escola Eduardo Vargas realizado pelo GRUPO EIRE, que previu a substituição das lâmpadas fluorescentes por LEDs com um custo de R\$ 6.486,55 que diminuirá a demanda da escola para 16.781,25kWh/ano. O novo projeto do sistema de energia fotovoltaica com eficiência previu a necessidade de 41 placas com potência instalada 10,86kW, ocupando uma área de 67m<sup>2</sup> com um custo de R\$60.730,72 reais, considerando o investimento de eficiência energética. O retorno do investimento foi estimado em 7 anos com uma economia de R\$ 107.646,70 e uma TIR de 15,67%, mostrando que o projeto é viável. Pelos dois projetos apresentarem o mesmo tempo de retorno é indicado utilizar o sistema fotovoltaico com eficiência energética, pois apresenta o menor valor de investimento e uma maior TIR.

Para o sistema de aquecimento térmico por coletores foi estimada a necessidade de aquecimento de 360 litros de água, no entanto serão considerados o aquecimento de 400 litros pois é capacidade reservatório adotado no projeto. Para o aquecimento de 400 litros de água a uma temperatura de 65°C será necessário um total de 8 coletores, ocupando uma área 15m<sup>2</sup>, com um custo de investimento R\$ 9.040,0. O retorno se dará em 9 anos com uma economia de R\$ 18.287,42 e uma TIR de 16%, mostrando que é viável. Como as placas fotovoltaicas e coletores serão instaladas no lado norte do telhado de prédio A que totaliza uma área de 161m<sup>2</sup>, representaram a ocupação 51% do telhado ou seja de 82m<sup>2</sup>. O telhado no lado sul do prédio A e o telhado do prédio B serão utilizados para coleta da água da chuva representando uma área de 511m<sup>2</sup>.

Para o dimensionamento da coleta da água da chuva para aplicação no uso das descargas do banheiro, foi estimado o consumo de 20.000 litros na escola. Considerando uma precipitação média de 124mm de chuva por mês e 7 meses de pouca chuva, o método de Azevedo Neto indica um volume de captação de 18.629,16 litros de água, pois considera o consumo e a chuva distribuída durante o mês. O investimento para o sistema de captação é de R\$ 9.169,58 com um retorno de 10 anos, uma economia de R\$ 13.301,10 e uma TIR de 8,73%, mostrando que o projeto é viável.

Desta forma constatou-se que a viabilidade econômica, social e ambiental da exploração dos recursos energéticos renováveis, tornando a escola Eduardo Vargas um instrumento de difusão das novas tecnologias de transformação energética sustentáveis. Levando em consideração as premissas da utilização racional e eficiência do uso final de energia elétrica, foi projetado os sistemas visando o bem social e da natureza do ambiente onde a escola está inserida. Pois é necessária a preocupação ambiental no âmbito das fontes de energias renováveis.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL. Caderno tematico aneel. micro e minigeracao distribuida. **Edicao 2**, 2016.
- ANEEL, A. Atlas de energia elétrica do brasil. **Brasília**, 2008.
- BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica**. [S.l.]: Edgard Blucher, 2009.
- BRAGA, R. P. Energia solar fotovoltaica: Fundamentos e aplicações. 2008, 67 f. **Monografia (Curso de Energia Elétrica)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro**, 2008.
- CALHA, B. Disponível em: <http://www.bellacalha.com.br>. **Acessado em outubro de**, 2018.
- CASTIAJO, S. S. F. Metodologia de manutenção de edifícios. sistemas solares térmicos. 2012.
- DREY, C. M. et al. Aquecedor solar: Um sistema construído de modo sustentável.
- ENERGÉTICA, E. de P. Ministério de minas e energia. **Balanco Energético Nacional (Brazilian Energy Balance)**, 2014.
- ENERGÉTICA, E. de P. Balanco energético nacional: Relatório síntese, ano base 2017. **Retrieved December**, v. 6, p. 2018, 2018.
- FILHO, P. M. C. T. Estudos da viabilidade econômica da micro e minigeração fotovoltaica à luz da resolução normativa nº 482 da aneel. 2015.
- FOWLER, M. The photoelectric effect. **The Photoelectric Effect**, 1997.
- INFORME, C. C. **Atlas Solarimétrico do Brasil. 2000**. 2008.
- INMET. **Normais climatológicas 1961-1990**. [S.l.]: Instituto Nacional de Meteorologia Brasília, 2009.
- JARDIM, C. d. S. et al. A inserção da geração solar fotovoltaica em alimentadores urbanos enfocando a redução do pico de demanda diurno. Florianópolis, SC, 2007.
- JOÃO, P. E. T. V. Análise técnico-econômica de uma minigeração fotovoltaica em um galpão logístico em contagem-mg. 2016.
- KAEHLER, J. M. Eficiencia energetica e minigeracao no campus alegrete. **PRO REITORIA DE PLANEJAMENTO. E INFRAESTRUTURA- UNIPAMPA, 2017**, 2017.
- KAEHLER MICAEL MÁRCIO OLIVEIRA, W. K. R. J. W. Minicurso recursos energéticos em edificações escolares. **SEURS 36 - Seminário de Extensão Universitária Região Sul- UFRGS-RS**, aug 2018.
- KUHN, R. L. Rastreamento diário e anual dos níveis máximos de radiação solar para otimização da produção fotovoltaica. **Trabalho de Conclusão de Curso, Unipampa - Alegrete**, 2013.

- LEAL, U. Ciclo da água na edificação. **Téchne—Revista de Tecnologia de Construção**. São Paulo, n. 48, p. 45–46, 2000.
- LODI, C. Perspectivas para a geração de energia elétrica no brasil utilizando a tecnologia solar térmica concentrada. **Universidade Federal do Rio de Janeiro/Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia**, 2011.
- NASPOLINI, H. F. et al. Avaliação do potencial da agregação da energia solar térmica para fins de aquecimento de água para o banho humano em núcleos habitacionais de baixa renda. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 1, n. 2, 2010.
- OLIVEIRA, M. et al. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **Terrae Didatica**, 2017.
- PROCEL, E. Programa nacional de conservação de energia elétrica. **Resultados do PROCEL**, 2017.
- ROSA, F. N. d. Aplicabilidade de coletores solares com tubo evacuado no brasil. 2012.
- RÜTHER, R.; SANTOS, I. Cartilha energia solar fotovoltaica. **Seminário Energia Limpa**, 2011.
- SANTOS, P. A. dos. Impactos e efeitos no planejamento integrado de recursos (pir) de micro e minigeração distribuída. **Smart Energy**, 2016.
- TIEPOLO, G. M. et al. Atlas de energia solar do estado do paraná-resultados. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. [S.l.: s.n.], 2018.
- TOLMASQUIM, M. Plano nacional de energia 2030. **Conselho Nacional de Política Energetica-CNPE, Brasilia, Brazil**, accessed, v. 1, n. 10, 2007.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis**. [S.l.]: Navegar São Paulo, 2003.
- TUGOZ, J. E.; BERTOLINI, G. R. F.; BRANDALISE, L. T. Captação e aproveitamento da água das chuvas: o caminho para uma escola sustentável. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade-GeAS**, v. 6, n. 1, p. 26–39, 2017.
- WALKER, H. R. et al. Fundamentos de física. **São Paulo: LTC**, 2002.