

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DANNYELLA STÉFANNY DE FREITAS POSTIGO**

**JOYCE ALVES DA SILVA**

**ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA SOLAR  
FOTOVOLTAICO EM QUADRAS POLIESPORTIVAS NA  
REGIÃO DE ANÁPOLIS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2021**

**DANNYELLA STÉFANNY DE FREITAS POSTIGO  
JOYCE ALVES DA SILVA**

**ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA SOLAR  
FOTOVOLTAICO EM QUADRAS POLIESPORTIVAS NA  
REGIÃO DE ANÁPOLIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA GODOI  
QUARESMA**

**ANÁPOLIS / GO: 2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

POSTIGO, DANNYELLA STÉFANNY DE FREITAS / SILVA, JOYCE ALVES DA

Estudo da implementação de sistema solar fotovoltaico em quadras poliesportivas na região de Anápolis

68P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021),

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- |                  |                                |
|------------------|--------------------------------|
| 1. Fotovoltaicas | 2. Energia renovável           |
| 3. Energia solar | 4. Desenvolvimento tecnológico |

I.ENC/UNI

II. Bacharel

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

POSTIGO, Dannyella Stéfanny de Freitas; SILVA, Joyce Alves da. Estudo da implementação de sistema solar fotovoltaico em quadras poliesportivas na região de Anápolis. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 68p. 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Dannyella Stéfanny de Freitas Postigo

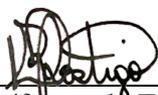
Joyce Alves da Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo da implementação de sistema solar fotovoltaico em quadras poliesportivas na região de Anápolis

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Dannyella Stéfanny de Freitas Postigo

E-mail: [contatodpicottoarq@gmail.com](mailto:contatodpicottoarq@gmail.com)



Joyce Alves da Silva

E-mail: [joycealves@hotmail.com](mailto:joycealves@hotmail.com)

**DANNYELLA STÉFANNY DE FREITAS POSTIGO  
JOYCE ALVES DA SILVA**

**ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA SOLAR  
FOTOVOLTAICO EM QUADRAS POLIESPORTIVAS NA  
REGIÃO DE ANÁPOLIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**



---

**WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestra (UniEVANGÉLICA)  
(ORIENTADORA)**



---

**ANDERSON DUTRA E SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**



---

**EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 26 de Maio de 2021.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, gratidão.

Aos meus pais, Luiz Tadeu Postigo e Stefane Moreira de Freitas, pela confiança e imenso amor. Esta realização só foi possível porque vocês são exemplos concretos de apoio e sustentação. Estendo este agradecimento ainda a todos os meus familiares que foram essenciais durante esse percurso. Obrigada pelo exemplo de força e acolhimento.

Às minhas irmãs, Gabriella e Isabella, por representarem os nossos pais quando a saudade revelava a distância. A todo o corpo docente desta querida instituição que foi minha casa por tantos anos.

Estendo também os meus agradecimentos à professora orientadora Wanessa pela oportunidade, por garantir que este trabalho acontecesse e pelo apoio durante o desenvolvimento da pesquisa. Ressalto que os elogios dirigidos à sua pessoa como professora são um reflexo do exemplo de profissional e mãe de família que é.

Às minhas amigas e amigos dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura, aqui representados pela minha parceira e dupla, Joyce Alves da Silva, companheira no desenvolvimento deste trabalho. Você é sinônimo de leveza. Agradeço por toda dedicação, por ser tão alto astral e pelo cuidado diário.

Pela impossibilidade de elencar os coadjuvantes únicos e especiais que fazem parte da minha vida pessoal e profissional com quem compartilho meus momentos de sucesso e felicidade e me alteiam nos desafios, me resta dizer que todos vocês fazem parte da minha história. Obrigada, Obrigada, Obrigada!

Dannyella Stéfanny de Freitas Postigo

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus que em todos estes anos esteve ao meu lado suprimo e me fortalecendo a cada momento, a minha família que sempre foi meu alicerce e me impulsionaram a conquistar os meus sonhos, ao meu querido namorado que nunca mediu esforços para me auxiliar, prestando apoio, carinho e amor, aos meus amigos que em todo este tempo me proporcionaram boas risadas, ombro amigo e alianças que desejo levar por toda vida.

E por fim, porém não menos importante, a Energize, empresa à qual trabalho e me concedeu a oportunidade de começar a atuar na área que tanto me profissionalizei para trabalhar.

Joyce Alves da Silva

## **RESUMO**

A energia solar é a energia derivada da luz solar sendo convertida em calor e eletricidade por meio das tecnologias disponíveis atualmente. Devido aos efeitos nocivos resultantes do comportamento humano, evidenciado neste caso pela nossa dependência de eletricidade e necessidade da sua geração e distribuição, é crescente as inúmeras discussões sobre a produção sustentável de energia com o objetivo de minimizar os impactos ao meio ambiente. Com isso, considera-se a energia solar uma importante aliada na busca dessa produção alternativa, de forma sustentável e renovável. Este trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo da implementação de um sistema fotovoltaico em uma quadra poliesportiva no estado de Goiás. De forma que, através dos objetivos específicos apresentar os conceitos e princípios de funcionamento desse sistema de micro usina de energia solar, realizar o levantamento de demanda de energia elétrica consumida em uma escola para que possa ser projetado e dimensionado um sistema utilizando painéis fotovoltaicos para a quadra poliesportiva desta mesma instituição, e analisar a viabilidade da sua implantação, a fim de estimar o tipo de sistema fotovoltaico adequado, conforme as exigências específicas. O estudo de caso foi realizado na Escola Municipal Realino José de Oliveira, uma instituição de Ensino Público localizada na cidade de Anápolis - Goiás, onde foram considerados parâmetros de projeto, dimensionamento, levantamento de materiais, orçamento e financiamento, viabilidade econômica e geração distribuída (rateio). Logo, com base nos cálculos realizados constatou-se que a viabilidade bem como o retorno financeiro da instalação do sistema de energia fotovoltaica na escola é positiva, confirmando sua eficiência.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Desenvolvimento tecnológico. Energia renovável. Energia solar. Fotovoltaicas.

## **ABSTRACT**

Solar energy is energy derived from sunlight being converted into heat and electricity using the technologies currently available. Due to the harmful effects resulting from human behavior, evidenced in this case by our dependence on electricity and the need for its generation and distribution, there is an increasing number of discussions about sustainable energy production in order to minimize impacts on the environment. With this, solar energy is considered an important ally in the search for this alternative production, in a sustainable and renewable way. This work has as general objective to carry out a study of the implementation of a photovoltaic system in multi-sports courts in the state of Goiás. So, through the specific objectives, present the concepts and principles of operation of this micro solar power plant system, carry out the survey demand for electricity consumed in a school so that a system can be designed and dimensioned using photovoltaic panels for the multisport court of this same institution, and analyze the feasibility of its implementation, in order to estimate the type of photovoltaic system, specific requirements. The case study was carried out at the Municipal School Realino José de Oliveira, a Public Education institution located in the city of Anápolis - Goiás, where design parameters, dimensioning, material survey, budget and financing, economic viability were considered and distributed generation (apportionment). Therefore, based on the calculations performed, it was found that the feasibility as well as the financial return of installing the photovoltaic energy system at the school is positive, confirming its efficiency.

## **KEY-WORDS**

Technological development. Renewable energy. Solar energy. Photovoltaic.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Ocorrência da radiação direta, difusa e refletida. ....	19
Figura 02 - Sistema de energia fotovoltaica <i>on-grid</i> .....	22
Figura 03 - Sistema de energia fotovoltaica <i>off-grid</i> .....	23
Figura 04 - Captação e geração da energia solar fotovoltaica .....	26
Figura 05 - Componentes da placa fotovoltaica .....	27
Figura 06 - Escola Municipal Realino José de Oliveira .....	38
Figura 07 - Quadra poliesportiva.....	38
Figura 08 - Componentes da placa fotovoltaica .....	42
Figura 09 - Vista estrutura do telhado .....	43
Figura 10 - Sentido do telhado .....	44
Figura 11 - Irradiação solar de Anápolis coordenadas da escola .....	45
Figura 12 - Irradiação solar de Anápolis coordenadas da escola .....	45
Figura 13 - Gráfico Irradiação solar com a variação mensal.....	46
Figura 14 - Placa com sujeira acumulada.....	46
Figura 15 - Painel Solar Jinko Bifacial 410W .....	47
Figura 16 - Sentido do telhado .....	49
Figura 17 - Arranjo unitário dos módulos .....	50
Figura 18 - Inversor solar fotovoltaico <i>on grid growatt</i> .....	51
Figura 19 - Ligação inversor e quadro de distribuição.....	51
Figura 20 - Ligação inversor/modulo .....	52
Figura 21 - Estrutura de Fixação telhado.....	53
Figura 22 - Fluxograma da documentação da concessionária de energia .....	55
Figura 23 - Tabela cronograma da concessionária de energia.....	55
Figura 24 - Modelo fatura com consumo mínimo parte 2.....	58
Figura 25 - Maquete da quadra da Escola Municipal Realino José de Oliveira.....	62

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Quadro de Consumo .....	40
Quadro 02 – Relação das Potências do Ar-Condicionado.....	41
Quadro 03 – Dados do fabricante .....	48
Quadro 04 – Dados mecânicos do fabricante .....	48
Quadro 05 - Componentes que acompanham a estrutura.....	54
Quadro 06 – Prazos do projeto .....	54
Quadro 07 – Orçamento .....	56
Quadro 08 – Valor do financiamento .....	57
Quadro 09 – Tabela Consumo .....	58
Quadro 10 – Comparativo de valores com e sem a implementação.....	59
Quadro 11 – Valor mensal após 5 anos .....	60
Quadro 12 – Tempo retorno do investimento.....	60

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
IR	Raios infravermelhos
NBR	Norma Brasileira
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
UV	Raios ultravioleta
VI	Raios visíveis
NTC	Norma Técnica Celg
UC	Unidade Consumidora
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente alternada
VOC	Tensão de circuito aberto
DPS	Dispositivos de Proteção contra Surtos
SF	Sistema Fotovoltaico
FV	Sistemas fotovoltaico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
1.3 METODOLOGIA .....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 ENERGIA SOLAR.....	17
<b>2.1.1 Radiação solar.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2 Aplicações da energia solar .....</b>	<b>20</b>
2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA .....	21
<b>2.2.1 Componentes do sistema fotovoltaico.....</b>	<b>23</b>
2.2.1.1 Módulos solares .....	24
2.2.1.2 Baterias.....	24
2.2.1.3 Materiais elétricos .....	24
2.2.1.4 Inversores .....	25
2.2.1.5 Controladores de carga.....	25
2.2.1.6 Equipamentos de proteção .....	25
2.2.1.7 Estruturas de suporte.....	26
<b>2.2.2 Captação e geração da energia solar fotovoltaica .....</b>	<b>26</b>
2.3 SITUAÇÃO ATUAL DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	28
2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	30
<b>2.4.1 Vantagens .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.2 Desvantagens.....</b>	<b>30</b>
2.5 NORMAS.....	31
2.6 DIMENSIONAMENTO DE PROJETO DE SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA LIGADO A REDE.....	32
<b>2.6.1 Análise do potencial energético .....</b>	<b>32</b>
<b>2.6.2 Números e disposição de módulos fotovoltaicos .....</b>	<b>34</b>
<b>2.6.3 Escolha do inversor .....</b>	<b>36</b>

<b>2.6.4</b>	<b>Projeto elétrico.....</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>PARÂMETROS ANALISADOS NO PROJETO .....</b>	<b>38</b>
3.1	DADOS DO LOCAL.....	38
3.2	PARÂMETROS COMPARATIVOS .....	38
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>40</b>
4.1	CONSUMO DA UNIDADE CONSUMIDORA.....	40
4.2	DIMENSIONAMENTO .....	43
<b>4.2.1</b>	<b>Escolha do inversor .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Escolha do Suporte .....</b>	<b>53</b>
4.3	VALOR DA ENERGIA DE COMPENSAÇÃO EM MÉDIA DIÁRIA.....	54
<b>4.3.1</b>	<b>Etapas de aprovação projeto .....</b>	<b>54</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Orçamento e financiamento .....</b>	<b>56</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Financiamento .....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Viabilidade econômica .....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Viabilidade .....</b>	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>63</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	64
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a sociedade se tornou bastante dependente da energia elétrica, ao longo dos anos a demanda por energia aumentou de forma considerável, com isso cresceu também a preocupação com a sustentabilidade, sendo assim é preciso explorar cada vez mais fontes de energia limpa que atendam a necessidade da população gerando o mínimo de impacto possível ao meio ambiente.

O crescimento do emprego de fontes de energia renovável no Brasil, especialmente a energia fotovoltaica, pode beneficiar o abastecimento e distribuição sendo um recurso inesgotável, evitando falhas e depauperamento, permitindo abundante força energética limpa em um país extenso e rico como o Brasil, assim suprimindo uma crescente demanda, dada sua localização Geográfica. O Brasil possui um elevado nível de radiação solar se comparado a outros países. Na Alemanha com uma média anual de 140 dias de sol, exatamente a metade da média brasileira que possui 280 dias de sol por ano, porém a Alemanha sai na frente em termos de energia solar. O país já é líder mundial em energia fotovoltaica, são mais de 450 mil instalações em todo país (TRIGUEIRO, 2008).

Mesmo o Brasil passando por constantes crises energéticas, principalmente em tempos de seca já que nossa maior rede de abastecimento elétrico é alimentada por meio de usinas hidroelétricas, com constantes tragédias e estragos ecológicos causados por ela. Segundo a vigência desses acontecimentos o país ainda não adotou medidas substituíveis para esse método, porém foi criado o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas) com o objetivo de aumentar a participação de fontes alternativas renováveis na produção de energia elétrica, privilegiando empreendedores que não tenham vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição. Porém a energia das hidroelétricas não foi descartada e ainda é considerada como uma energia alternativa renovável (RODRIGUES, 2013).

Com relação a energia solar, em 2012, com a finalidade do direito de permitir ao consumidor gerar sua própria energia elétrica a partir da energia solar, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) criou a resolução normativa nº 482, de 17/07/2012. Esta resolução estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

O fenômeno de radiação na faixa da luz visível, é chamado de efeito fotovoltaico, o que o torna viável para gerar energia elétrica em painéis solares a partir da luz do Sol. Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25%, a contribuição da energia elétrica gerada por meio da energia solar é responsável apenas por 0,05% para a matriz elétrica brasileira (NASCIMENTO, 2017).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho visa contribuir avaliando simplificada e aplicabilidade do sistema fotovoltaico e sua implementação em uma quadra poliesportiva sob uma análise comparativa da eficiência e viabilidade tanto ambiental quanto em redução de custos para atender o consumo necessário de energia. Atendendo também a preocupação com a demanda crescente de energia e a falta de investimento em outras fontes renováveis de energia.

No Brasil onde existe abundância de áreas onde a temperatura climática muito intensa pode-se utilizar a energia solar como a fonte principal, porquanto tem uma grande facilidade de montagem do sistema no próprio local de consumo, otimizando a produção e utilização da mesma, sendo assim, relevante o estudo de aplicação dessa técnica, principalmente em órgãos públicos.

Pensando nisso, este trabalho tem como objetivo realizar uma simulação da implementação de um sistema fotovoltaico em uma quadra poliesportiva no estado de Goiás. Partindo do objetivo geral, o estudo apresenta como objetivos específicos apresentar os conceitos e princípios de funcionamento do sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica, realizar o levantamento de demanda de energia elétrica consumida em uma escola ciclo 1 e ciclo 2, projetar e dimensionar um sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos, para uma quadra poliesportiva, e por fim, avaliar a viabilidade de implantação do sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos, estimando Estimar o tipo de sistema fotovoltaico adequado.

O TCC foi efetuado a partir da pesquisa bibliográfica e estudo de caso, desta forma, foi apresentado o referencial teórico e posteriormente aplicado o estudo de caso efetuando a análise da energia fotovoltaica em uma quadra poliesportiva.

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho consistem em direcionar a pesquisa em dois tópicos gerais e específicos como apresentados a seguir.

### 1.2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo da viabilidade econômica da implementação de um sistema fotovoltaico em uma quadra poliesportiva no estado de Goiás.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar os conceitos e princípios de funcionamento do sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica.
- Realizar estimativa de consumo de energia elétrica consumida em uma escola.
- Projetar e dimensionar um sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos, para uma quadra poliesportiva<sup>1</sup>.
- Avaliar a viabilidade de implantação do sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos.

## 1.3 METODOLOGIA

Este trabalho foi um estudo de caso com referencial teórico, baseado em um modelo de escola energeticamente sustentável, onde serão feitas em diferentes etapas do projeto, para calcular taxas de retorno ao investidor, período de pagamento, cálculo do lucro e comparação dos ganhos e eficiência energética, buscando um formato de projeto que seja interessante o suficiente para o investidor realizar a implementação e ao mesmo tempo não tenha um impacto tarifário de grande magnitude para o usuário final.

As simulações foram realizadas por meio do desenvolvimento de planilhas eletrônicas, onde é possível constatar, dentre diversos outros itens, o custo total do programa, o impacto

---

<sup>1</sup> \*Foi realizado o projeto preliminar do inversor e dos demais componentes do sistema.

tarifário que o mesmo terá através da diminuição dos custos ao investidor final e o momento em que a eficiência energética da energia fotovoltaico e da energia convencional será o mesmo para o usuário final.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este TCC foi dividido em 05 capítulos.

No capítulo 01 foi apresentado a introdução do TCC, evidenciando os objetivos propostos, justificativa, metodologia e divisão do estudo.

No capítulo 02, foi apresentada a revisão bibliográfica, onde foi realizado o levantamento do material teórico necessário para o estudo.

No capítulo 03, foram apresentados os parâmetros que serão analisados no projeto proposto no estudo.

No capítulo 04, foi apresentado o projeto e programa experimental utilizado apresentado o dimensionamento e projeto um sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos para a quadra poliesportiva assim como os resultados obtidos no estudo

No capítulo 05, foram apresentadas as conclusões.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com o objetivo de apresentar o embasamento teórico para desenvolvimento dessa pesquisa.

### 2.1 ENERGIA SOLAR

O sol é a estrela central do sistema solar, portanto, todos os outros corpos celestes do sistema solar, incluindo planetas e satélites relacionados, giram em torno dele. Além disso, o sol ainda é chamado de fonte da vida, fornecendo energia e calor na forma de radiação. Por conseguinte, a energia solar, pode ser utilizada convertida em energia elétrica ou energia térmica, através transformação direta da energia do sol em energia elétrica (através das células fotovoltaicas) e a captação e posteriormente a transformação da energia do sol em energia térmica (SOLAR PRIME, 2018).

De acordo com a Solar Prime (2018) atualmente a energia solar pode ser utilizada a partir de 03 sistemas:

- Energia solar térmica: É a energia solar térmica é aplicada a partir de coletores solares e tem como objetivo servir para aquecimento de um corpo através do armazenamento da energia.
- Energia solar fotovoltaica: trata-se da captação direta da radiação solar que é captada através dos painéis solares e posteriormente convertida em energia que pode ser utilizada pelo ser humano.
- Energia solar heliotérmica: É o tipo de energia utilizada em processos industriais, onde a radiação solar é acumulada em um único receptor que serve para aquecer água e gerar vapor para geração de energia.

A energia solar é uma fonte de energia renovável, que corresponde à energia obtida a partir da luz e do calor emitido pelo sol, e pode ser utilizada diretamente para a iluminação, aquecimento de fluidos e do meio ambiente, como fonte de energia ou para a energia solar, sendo uma das formas cada vez mais crescentes e em desenvolvimento de produção de energia em todo o mundo. Além disso, como a maioria dos tipos de energia limpa pode ser o futuro da Terra em termos de sustentabilidade e fornecimento de energia ao passo que, a energia usada hoje é limitada e prejudica o meio ambiente (FADIGAS, 2016).

### 2.1.1 Radiação solar

Embora os raios solares possam causar danos quando existe uma exposição inadequada, há de se saber que a radiação solar traz inúmeros benefícios, uma vez que, devido incidência de raios solares existem as formas de plantas mais diversas assim como vários outros organismos vivos também constituem a biodiversidade do planeta. Essa energia solar chega à Terra por meio dos raios solares fornecendo nutrientes para as plantas, transmitindo energia para o homem, para os animais e alimentos que serão consumidos. Os raios solares por sua vez, são propagados em a forma de radiação, onde grande parte desta energia é irradiada como luz visível, ou sejam os raios solares que é possível ver e sentir ao longo do dia (CORREA, 2020).

Pode-se definir como radiação solar de acordo com Planas (2015) como a transferência de energia através de ondas eletromagnéticas que são propagadas em vários comprimentos de onda ou frequências em todas as direções à velocidade da luz. Essa radiação do sol pode ser dividida em 03 tipos distintos de acordo com a aplicação (PLANTAS, 2015).

- IR (Raios infravermelhos): fornecem calor.
- VI (Raios visíveis): fornecem luz.
- UV (Raios ultravioleta): dividido em UVA, UVB e UVC.
  - I. UVA: Também conhecido como ultravioleta A, se trata da radiação que passa com facilidade pela atmosfera Terrestre.
  - II. UVB Também conhecido como ultravioleta B, possui o comprimento de onda curto e tem um maior obstáculo para passar pela atmosfera os raios UVB alcançam as zonas de baixas latitudes com maior facilidade.
  - III. UVC: Também conhecido como ultravioleta B também possui o comprimento de onda curto e não passam pela atmosfera, uma vez que são absorvidos pela camada de ozônio.

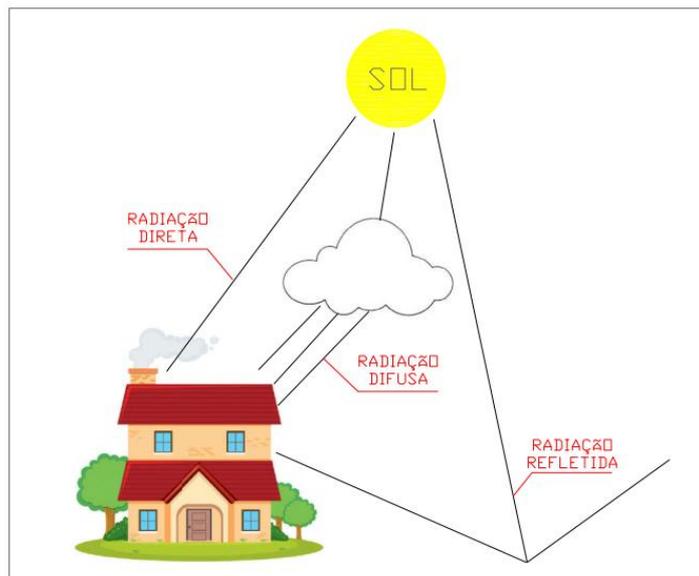
Para Fadigas (2016) a energia do Sol que atinge a Terra na forma de radiação é derivada da soma das radiações direta, difusa e refletida, uma vez que, esses componentes são produzidos porque toda radiação experimentará uma série de reflexão, dispersão e absorção ao longo de seu caminho, mesmo da camada mais externa para a camada mais interna da Terra.

- Radiação direta: A chamada radiação direta é a radiação diretamente do Sol, que exceto pela mudança de direção causada pela refração na atmosfera, nenhum outro tipo de mudança de direção ocorreu.

- Radiação difusa: Também chamada de radiação indireta trata-se do efeito no corpo após a mudança da direção dos raios iniciais, e pode ocorrer devido à influência da reflexão ou espalhamento na atmosfera. Em outras palavras, esse tipo de radiação refere-se à parte da radiação solar que atinge o solo devido alguma uma partícula atmosférica que muda seu ângulo de incidência como por exemplo em dias nublados.
- Radiação refletida: A radiação refletida se refere a radiação solar refletida na superfície por ação do efeito albedo, ou seja, poder de reflexão de uma superfície. Essa reflexão varia de acordo com as propriedades do receptor e sua inclinação em relação aos raios recebidos.

Desta forma, a Figura 01 foi desenvolvida para ilustrar a ocorrência da radiação direta, difusa e refletida em uma superfície.

**Figura 01 - Ocorrência da radiação direta, difusa e refletida.**



Fonte: AUTORAS, 2020.

É importante destacar que a radiação solar é uma medida da energia por unidade de área da radiação solar incidente na superfície em um local e intervalo de tempo especificados, desta forma a magnitude que descreve a radiação alcança a Terra é chamada de irradiância. Essa irradiância normalmente é expressa em watts por metro quadrado, ora, quando se fala em radiação solar está se referindo a quantidade de irradiação recebida. Os valores de irradiação são utilizados para calcular a implantação de energia solar (PLANTAS, 2019).

### 2.1.2 Aplicações da energia solar

Além da energia solar ser uma fonte de energia que não gera poluentes conforme citado anteriormente, ela possui outro benefício uma versatilidade que a torna uma ótima alternativa, uma vez que, existe uma gama de aplicações para seus sistemas. Nesse contexto, pode-se citar algumas das principais aplicações para esse tipo de energia, a saber:

- **Aquecimento solar térmico:** Se trata do aquecimento de componentes como o ambiente ou água por exemplo, através da energia solar térmica, sendo uma das aplicações mais comuns, especialmente quando utilizada em residências. Para tal são utilizados dispositivos que armazenam o calor quando expostos ao sol e posteriormente difundem esse calor para a utilização que é destinada (FADIGAS, 2016).
- **Microgeração urbana:** Muito utilizado para a finalidade residencial da energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos para a geração de energia em prédios ou edifícios seja instalado nos telhados, dentro das paredes ou numa determinada área de solo próxima do edifício (CRUZ *et al.*, 2017).
- **Telecomunicações:** A energia solar é possível ser utilizada também para assistir televisão ou acessar aparelhos de comunicação. Onde os postes funcionam como uma espécie de autogeradores, de forma remota e sem a necessidade de cabos. É muito utilizado em áreas remotas como áreas florestais que necessitam de monitoramento por radar (ENERGIA TOTAL, 2019).
- **Usinas solares:** Outra aplicação bastante comum da energia solar é nas usinas solares, que se tratam de uma extensão coberta por painéis fotovoltaicos que geram energia. Atualmente existe na cidade de Anápolis GO um estacionamento solar fotovoltaico situado na UniEVANGÉLICA – Campus Arthur Wesley Archibald que conta com 2,9 mil placas solares instaladas em uma área de 5.630 m<sup>2</sup>, e tem capacidade para gerar uma economia de energia de 2.463,80 MWh/ano, suficientes para abastecer aproximadamente 1350 residências, além de ser suficiente para suprir até 80% da demanda do Campus (UNIEVANGELICA, 2019).
- **Na agropecuária:** A energia solar fotovoltaica também tem sido muito utilizada na agropecuária em propriedades rurais remotas que não tem acesso fácil a energia elétrica. Desta forma, são instaladas placas fotovoltaicas com o objetivo de atender sistemas como ordenha de leite, irrigação ou outras demandas que necessitam de energia (FADIGAS, 2016).

- Marketing verde: Além das aplicações citadas, atualmente a energia solar tem sido muito implantada como estratégia de marketing sustentável. Cada vez mais as empresas têm aderido a esse investimento para servir como economia além de ter sua imagem pública valorizada ao voltar seu serviço ou produto para praticas que valorizem e tragam benefícios ao meio ambiente (ENERGIA TOTAL, 2019).

## 2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é a energia elétrica captada através radiação solar por meio de células fotovoltaicas, e transformação em energia elétrica, essas células fotovoltaicas basicamente são responsáveis por captar os raios oriundos do sol e transforma-los em energia que pode ser utilizada pelo homem, onde a geração de energia solar acontece dentro da célula ao passo que ocorre uma reação da luz do sol com o material semicondutor, que por sua vez, admite à placa fotovoltaica uma combinação de vários elementos sobrepostos.

Segundo Cruz *et al.* (2017, p. 23-24)

Em qualquer instalação solar fotovoltaica o módulo solar fotovoltaico é a célula básica do sistema gerador. A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em corrente contínua. A corrente do gerador solar é definida pela conexão em paralelo de painéis individuais ou de *strings* (conjunto de módulos conectados em série). A potência 24 instalada, normalmente especificada em corrente contínua, é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais.

Logo, o método direto de captação de energia solar por meio de células fotovoltaicas, precisa de apenas uma etapa para capturar a energia do sol e transformá-la em energia elétrica utilizável. São captadas através das placas fotovoltaicas, conforme mencionado, que são montadas em módulos ou em painéis e transformam a radiação solar em eletricidade, uma vez que, a energia solar atinge uma célula fotovoltaica criando assim a eletricidade (CRUZ *et al.*, 2017).

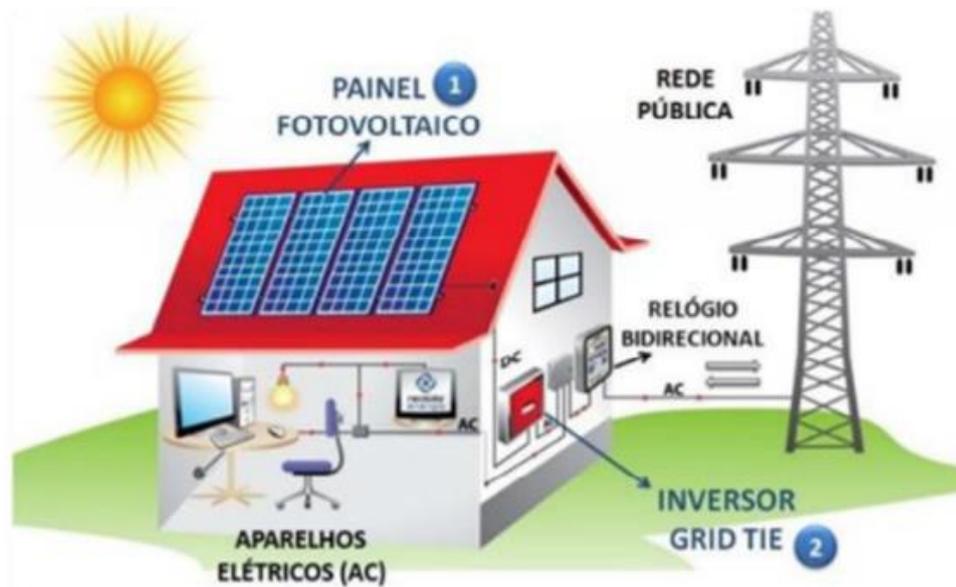
Esse tipo de energia, pode ser utilizado conectado à rede elétrica (*on-grid*), isolado (*off-grid*) onde não a rede convencional de energia elétrica ou até mesmo o sistema híbrido, de acordo com a necessidade de cada usuário.

No sistema fotovoltaico conectado à rede, conhecido como *on-grid*, o sistema de energia solar fotovoltaica é ligado à rede convencional de energia da unidade regulamentado pela ANEEL onde os impostos são previstos, sendo que neste sistema não há necessidade de utilização de baterias, pois quando a geração de energia do sistema fotovoltaico falha ou é insuficiente para atender às necessidades do usuário, pode-se utilizar o fornecimento de energia da empresa (SOUZA, 2017).

Desta forma, a energia consumida é maior do que a produzida pelo painel fotovoltaico, o consumo é registrado, logo o usuário paga pelo valor excedido de consumo, da mesma forma se a energia consumida é maior que a produzida pelo painel fotovoltaico, a energia pode ficar como crédito na empresa de energia (ESTEVEVES, 2014).

A Figura 02 ilustra um sistema de energia fotovoltaica conectado à rede. Na Figura é possível observar os painéis fotovoltaicos (1) que recebem a radiação solar transformando-a em energia elétrica que posteriormente passa pelo inversor *grid-tie* (2) que faz a conversão de corrente contínua em corrente alternada pronta para consumo, transmitindo-a para a rede pública.

Figura 02 - Sistema de energia fotovoltaica *on-grid*



Fonte: ANIZIO E SOUZA, 2018

Diferente do sistema *on-grid*, o sistema fotovoltaico isolado também chamado de *off-grid* não é ligado à rede convencional de energia, como o próprio nome já sugere esse sistema funciona de forma isolada onde a energia é armazenada em baterias para ser utilizada quando necessário. Este tipo de sistema permite o uso de energia em áreas remotas onde não há acesso à rede padrão ou mesmo onde o custo de conexão à rede é alto, portanto, por se tratar de um sistema independente, não há regulamentação que estipule o que pode ser instalado sem a autorização da concessionária (SOUZA, 2017).

Na Figura 03 que representa o sistema de energia fotovoltaica isolada é possível observar o processo. A energia solar é captada através dos painéis fotovoltaicos (1) transformando-a em energia elétrica, essa energia passa pelo controlador de carga (2) que fica

a carga da proteção das baterias contra excesso de carga ou descargas, e fica armazenada nas baterias (3) que por último é encaminhada para o inversor de frequência que converte a corrente contínua em corrente alternada pronta para consumo.

**Figura 03 - Sistema de energia fotovoltaica *off-grid***



Fonte: ANIZIO E SOUZA, 2018

Além dos métodos *on-grid* e *off-grid* o usuário pode optar ainda pelo sistema de energia solar fotovoltaica híbrida, para Souza (2017) esse sistema é ideal para locais onde existe rede de energia elétrica, porém há muitas quedas de energia. Por se tratar de um método que mescla as duas técnicas, o sistema híbrido conta com uma série de baterias com a função de alimentação caracterizadas por serem as baterias principais e outra série de baterias com função de backup, caracterizadas por serem as baterias secundárias.

### 2.2.1 Componentes do sistema fotovoltaico

Para que o sistema de energia solar fotovoltaica funcione existem alguns componentes que são essenciais para seu desempenho. Esses componentes atuam de forma que ao entrar em contato com os átomos de silício presentes no módulo solar as partículas solares geram uma movimentação de elétrons que criam a energia solar fotovoltaica, em outras palavras, esses componentes são os responsáveis pela formação de energia solar fotovoltaica, seja ela conectada à rede, isolada ou híbrida (BRAGA, 2008).

Em suma, um sistema fotovoltaico de energia é composto por um conjunto de equipamentos como módulos solares ou fotovoltaicos, baterias, materiais elétricos, inversores, controladores de carga, equipamentos de proteção e estruturas de suporte. É importante lembrar que a utilização dos componentes pode variar de acordo com a aplicação de cada sistema.

#### 2.2.1.1 Módulos solares

Os módulos solares, também conhecidos como módulos fotovoltaicos ou placas fotovoltaicas consiste em um conjunto de células solares conectadas em série que tem como função a geração da energia elétrica. No modulo solar, a radiação solar é recebida pelas células fotovoltaicas, fazendo com que haja a movimentação de elétrons que por sua vez produzem a corrente elétrica.

Segundo Bittencourt (2011) os módulos solares podem variar em tamanho e forma, porém a funcionalidade permanece a mesma. Além disso, podem ser utilizados quantos painéis forem necessários para atender a demanda do usuário, visto que, são eles que definem a porcentagem de energia que o sistema irá receber. A vida útil do modulo solar pode chegar a 25 anos.

#### 2.2.1.2 Baterias

As baterias atuam no armazenamento da energia gerada e posteriormente no fornecimento da energia necessária em quantidade e tempo constante, e com o menor desperdício possível. Os modelos mais utilizados são as baterias de chumbo-ácido estacionárias, uma vez que suportam uma quantidade de descargas maiores (PIRES, 2015).

Para Bastos (2018) nos sistemas *off-grid* esse componente é indispensável, especialmente porque a energia do sol é intermitente além de poder variar em detrimento do clima, desta forma, as baterias têm a função de fornecer o consumo de energia a qualquer momento e armazenar a energia excedente quando a demanda é baixa.

#### 2.2.1.3 Materiais elétricos

Os materiais elétricos referem-se basicamente ao conjunto de materiais que são utilizados para a instalação do sistema, bem como proteção e segurança dos equipamentos, tais como cabos e conectores etc. O fato é que esses componentes precisam seguir uma série de

requisitos para atender o dimensionamento, como por exemplo, o revestimento dos cabos precisa ser resistente à queima ou a tensão do sistema (SANTOS, 2020).

#### 2.2.1.4 Inversores

Os inversos é o componente do sistema fotovoltaico responsável pela conversão da energia para a utilização, isso porque a energia produzida pelo sistema fotovoltaico é gerada em corrente contínua, mas precisa ser transformada em corrente alternada, o mesmo ocorre com a energia fornecida pelas baterias. Sendo assim, o inversor converte energia contínua em alternada (PIRES, 2015). Segundo Pires (2015, p. 25) “os inversores transformam a corrente alternada em 60Hz e produzem uma onda senoidal pura ou modificada. Além disso, os inversores “*Grid-Tie*” detectam a queda de fornecimento da rede e desligam automaticamente”.

Camargo (2017) afirma ainda que para o sistema *on-grid*, que atua em paralelo com a rede convencional de energia o inversor impede que haja conflitos entre rede fotovoltaica e a pública, bem como a probabilidade de algum acidente em caso de manutenção da rede da concessionária.

#### 2.2.1.5 Controladores de carga

O controlador de carga atua na proteção das baterias contra descargas em caso de aumento de tensão, além disso, o controlador é responsável também por monitorar a carga evitando que a bateria descarregue completamente. Esse componente é extremamente importante visto que, sua utilização prolonga a vida útil da bateria (JUNIOR; SOUZA, 2018).

Segundo Junior e Souza (2018) os controladores de carga podem ser paralelos, que permite a ligação paralelo de duas baterias iguais geralmente utilizado em correntes baixas ou o controlador de carga em serie que é normalmente utilizado em correntes maiores.

#### 2.2.1.6 Equipamentos de proteção

Outros componentes de suma importância para o desempenho do sistema fotovoltaico são os equipamentos que protegem o sistema contra possíveis surtos de tensão ou corrente. Segundo Camargo (2017, p.34) “os dispositivos de proteção, como o próprio nome já diz, são utilizados para proteger e evitar qualquer tipo de dano no sistema gerador e no sistema elétrico do prédio. Geralmente são compostos de disjuntores e dispositivos contra surto (DPS)”.

Esses elementos, compostos geralmente além dos disjuntores, chaves ou fusíveis atuam de forma a interromper e proteger o fluxo de corrente quando necessário, podendo ser em casos de manutenção ou emergências (BRAGA, 2008).

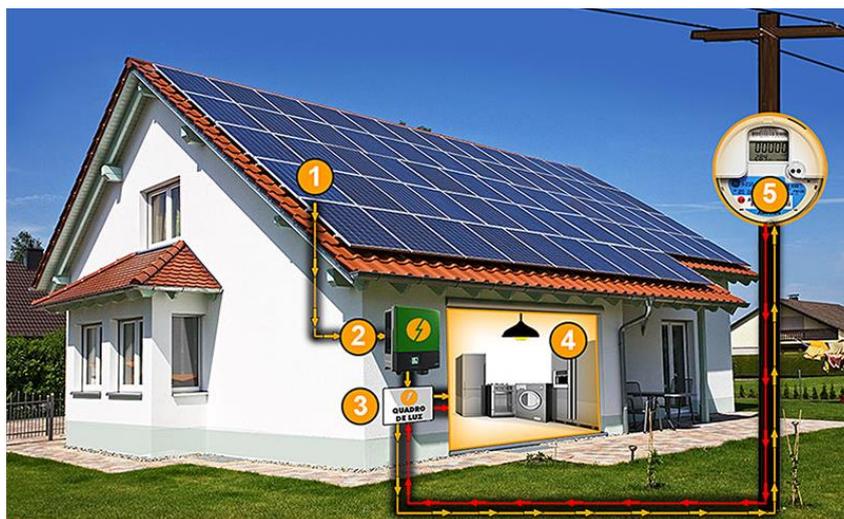
### 2.2.1.7 Estruturas de suporte

Por fim, as estruturas de suporte servem para apoio e sustentação dos componentes do sistema fotovoltaico. Para a instalação é preciso que sejam levados em consideração fatores como material dos componentes, local de instalação, inclinação etc. As estruturas de suporte geralmente são feitas de aço inoxidável pois precisam ser resistentes, leves e compatíveis com a vida útil dos componentes do sistema (SANTOS, 2020).

## 2.2.2 Captação e geração da energia solar fotovoltaica

Conforme explicado anteriormente, a energia fotovoltaica é um sistema usado para capturar a energia do sol por meio de células fotovoltaicas e convertê-la em energia elétrica para uso humano. Essa captação e geração da energia solar fotovoltaica pronta para a utilização final pelo homem pode ser explicada a partir de 05 etapas principais, conforme ilustrado na Figura 04.

**Figura 04 - Captação e geração da energia solar fotovoltaica**

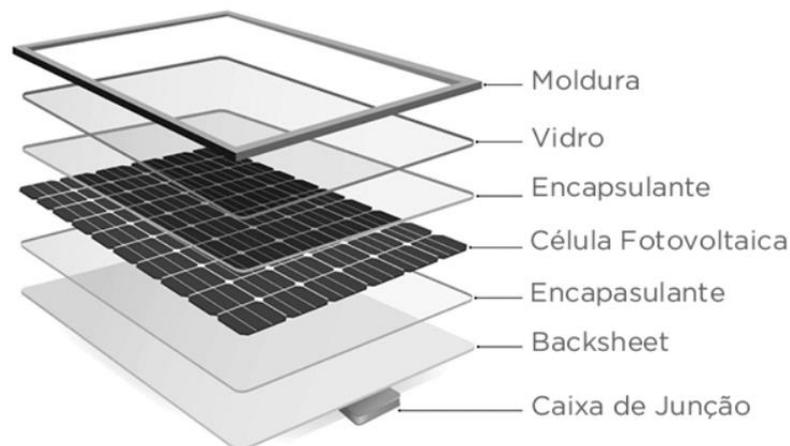


Fonte: PORTAL SOLAR, 2016

- I. A captação da energia solar ocorre nos módulos solares quando estes recebem a radiação proveniente do sol, a quantidade de radiação que pode ser captada pelas placas solares depende da irradiância solar do local. O funcionamento dos módulos solares se dá basicamente pelas células fotovoltaicas que por sua vez, são constituídas de materiais semicondutores, devido isso, a geração da energia acontece dentro da célula fotovoltaica através de uma reação entre a energia solar e o semicondutor (ZILLES *et al.*, 2012).
- II. A energia gerada pelos painéis solares passa pelo inversor solar, que converte a corrente contínua em corrente alternada e a iguala à frequência utilizada nas residências (60 Hz). Desta forma, a energia solar agora é igual à energia solar da rede (BITTENCOURT, 2011).
- III. Após a conversão, a energia sai do inversor e é transmitida para a rede de energia da residência, geralmente essa conexão é feita através do quadro de luz (BASTOS, 2018).
- IV. Após a conexão da energia já convertida ao quadro de luz da residência, ela já pode ser utilizada pelo usuário, para iluminação ou em aparelhos domésticos (ZILLES *et al.*, 2012).
- V. Caso a residência utilize menos energia que a gerada, a quantidade extra vai para a rede pública de energia e é devolvida ao usuário quando este consome mais do que produz. Em caso de redes isoladas com energia fotovoltaica a energia excedente é armazenada nas baterias para uso posterior (PORTAL SOLAR, 2016)

A Figura 05 ilustra o detalhamento de uma placa fotovoltaica, formada através da sobreposição de vários elementos.

**Figura 05 - Componentes da placa fotovoltaica**



Fonte: PORTAL SOLAR, 2016

Cada componente da placa atua como uma parte dela e possui uma funcionalidade. O site Portal Solar (2016) explica cada componente de acordo com a sua função.

- As molduras atuam na proteção da placa, tanto na instalação quanto contra trincas ou torções;
- O vidro tem como função a absorção de luz, ele é feito de um material que contém baixo teor de ferro além de ser um vidro temperado e revestido com um elemento antirreflexo.
- O encapsulante trata-se de um material selante que foi especificamente projetado para proteger as células fotovoltaicas contra o envelhecimento causado por raios UV, temperaturas extremas e umidade, assegurando que o máximo luz visível atinja as células solares.
- O backsheet é um material plástico branco que vai na parte de trás do painel solar que protege os componentes internos do painel solar, especificamente as células fotovoltaicas bem como agir como um isolante elétrico.
- A caixa de junção é responsável pela conexão de todos os elementos da placa, ela vem com os cabos e conectores especiais que são utilizados para interconectar os painéis solares quando instalados no telhado e tem a função de garantir a segurança e o bom funcionamento do modulo solar.

### 2.3 SITUAÇÃO ATUAL DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

De acordo com levantamento e mapeamento apresentado por Colaferro (2018) a energia solar fotovoltaica é responsável por boa parte das instalações de geração de energia distribuída no Brasil. Entre os 171.000 sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede, o investimento acumulado desde 2012 ultrapassou 10 bilhões de reais, distribuídos em cinco regiões. O setor nacional abrange microgeração e pequenos sistemas de geração de energia distribuídos em residências, empresas, indústrias, produtores rurais, prédios públicos e pequenos terrenos.

Embora o país detenha uma das maiores matrizes de energia renováveis do mundo, o Brasil ainda enfrenta alguns desafios para atingir as metas de utilização. Porém, se o custo de aquisição for considerado, embora ainda seja alto devido à falta de incentivos governamentais,

o número de sistemas fotovoltaicos instalados em território brasileiro aumentou muito (COLAFERRO, 2018).

Vale ressaltar ainda, que o território brasileiro conta com uma grande vantagem no que diz respeito a incidência solar, sendo superior a diversos países que lideram o ranking da geração desse tipo de energia renovável. Pode-se condiserar então, de acordo com Cooper e Junior (2013) que esse é um dos grandes incentivos para o investimento na geração de energia fotovoltaica no país.

Casarin (2020) destaca o consumo dos sistemas fotovoltaicos instalados atualmente no Brasil em porcentagem de consumo: liderando a posição está o consumo residencial com 72,60% do total, o setor de serviços e comércio aparece logo em seguida com 17,99% do consumo, seguido pelos setores rurais com 6,25% do consumo, indústrias com 2,68% de consumo, poder público com 0,43% e iluminação pública com 0,01%, os outros tipos de consumo seguem com 0,04% do total.

Recentemente a ABSOLAR (2020) disponibilizou alguns levantamentos feitos a respeito da utilização da energia solar no Brasil:

- A indústria de energia fotovoltaica gerou cerca de 130 mil empregos de 2012 a 2019 somente no Brasil;
- Dente os grandes geradores de energia fotovoltaica, a líder brasileira é Minas Gerais, contando com uma potência instalada de cerca de 562,5 MW, acompanhada pelo Rio Grande do Sul em segundo lugar, com 385,0 MW e por São Paulo em terceiro lugar com 356,8 MW;
- A energia fotovoltaica atingiu 1,6% da matriz energética brasileira em 2020;
- A potência instalada total da energia solar brasileira é de 5.764,0 MW;
- Estima-se que 4,6 GW de potência contratada em leilões de energia entrarão em operação no país em 2025, com investimento de até R\$ 25,8 bilhões;
- O investimento em sistemas de geração de energia fotovoltaica de 2012 e 2019 foi de aproximadamente investidos R\$ 14,6 bilhões.
- Aproximadamente 304.427 unidades consumidoras recebem créditos pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

## 2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Existem diversos benefícios para a utilização de energia solar fotovoltaica para o consumidor, meio ambiente, economia do país, etc., entretanto, existem também algumas desvantagens. Ao optar pela instalação da energia fotovoltaica, é importante que o usuário tenha em mente as vantagens e desvantagens desse tipo de tecnologia.

### 2.4.1 Vantagens

- **Energia Sustentável:** Se trata de uma tecnologia é limpa e renovável, utiliza matéria prima gratuita e eficiente. Além disso o Brasil é um país que recebe uma grande quantidade de radiação solar devido seu clima tropical.
- **Não possui ruídos e poluição:** A produção de energia solar fotovoltaica é totalmente silenciosa, pois só utiliza painéis fotovoltaicos para gerar energia diretamente, que é um processo fotoquímico, por isso não emite sons nem poluição.
- **Facilidade na instalação:** Na geral o sistema é bem simples de ser instalado, muitos dos sistemas fotovoltaicos são projetados para serem montados em estruturas já prontas.
- **Pouca manutenção:** Necessita apenas de manutenções preventivas, na maioria dos casos quase não existem manutenções corretivas.
- **Vida útil longa:** Um sistema solar fotovoltaico sua duração vai depender da alta qualidade dos painéis, podendo gerar energia com uma eficiência aceitável por um período de 30 a 40 anos.
- **Alcance a locais remotos:** Através do sistema indireto de energia fotovoltaica, ela pode ser instalada em locais onde não há acesso a rede convencional de energia.
- **Redução de custos a longo prazo:** Levando-se em consideração a vida útil do sistema fotovoltaico combinada com a baixa manutenção e a abundante e gratuita fonte de energia, há uma grande viabilidade na redução de custos a longo prazo.

### 2.4.2 Desvantagens

- **Valor Alto de Investimento inicial:** Embora a fonte de energia solar seja abundante, o custo para aquisição e instalação do sistema fotovoltaico é alto. Entretanto, existem

hoje consórcios de energia solar e financiamentos subsidiados, que disponibilizam linhas de crédito especiais para investimentos em recursos sustentáveis.

- Geração Intermitente de Energia: Por se tratar de uma tecnologia que capta energia através do sol, conseqüentemente esse sistema não funciona a noite, causando um efeito intermitente de geração de energia. Felizmente, o consumidor pode optar por utilizar baterias para o aproveitamento da energia a noite.

Algumas pessoas consideram que a instalação de placas fotovoltaicas afeta a estética do imóvel, devido a necessidade da instalação das placas fotovoltaicas para a captação de energia, o SF pode alterar a fachada e arquitetura original do imóvel.

## 2.5 NORMAS

Para a adoção da energia solar fotovoltaica é importante fazer um estudo sobre a energia solar disponível na região além de buscar as normas e procedimentos necessários para a instalação do sistema adequadamente assim como a fiscalização.

A NBR 16149 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição (ABNT, 2013) estabelece as recomendações específicas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica e estabelece seus requisitos e a NBR 16150 – Sistemas fotovoltaicos (FV) — Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformidade (ABNT, 2013) especifica os procedimentos de ensaio para verificar se os equipamentos utilizados na interface de conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia estão em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 16149.

A Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012 da ANEEL, posteriormente atualizada pela Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015 estabelece ainda, as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências, impactando diretamente sobre o mercado de energia elétrica para micro e minigeradores distribuído.

Essa alteração melhorou dentre outras coisas as condições de geração distribuída, passando de até 100 KW para até 75 KW e de 100 KW até 1 MW para 75 KW até 5 MW. Houve melhoria nos prazos de aprovação do acesso ao sistema de compensação de energia, se tornando mais rápido e com acesso mais facilitado. Além disso, essa alteração possibilitou que sejam criados consórcios ou cooperativas entre várias unidades consumidoras.

## 2.6 DIMENSIONAMENTO DE PROJETO DE SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA LIGADO A REDE

Para o dimensionamento do projeto de energia fotovoltaica é preciso que sejam verificadas algumas etapas, a seguir será demonstrado um modelo de dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede pública de distribuição (*on-grid*). Os cálculos foram baseados na norma NBR 16.149 (ABNT, 2013) e nas Resoluções Normativas N° 482 (2012) da ANEEL e sua alteração Resolução Normativa N° 687 (2015).

### 2.6.1 Análise do potencial energético

Primeiramente, é preciso conhecer o potencial energético da unidade consumidora que será atendida pelo sistema fotovoltaico através da a média de consumo e de irradiação solar. Para a média de consumo, pode-se levar em conta a média de consumo obtida através da conta de energia elétrica do local, ou fazer uma previsão da demanda de eletricidade através do projeto elétrico em caso de novas unidades consumidoras.

Para garantir a eficiência da geração da energia fotovoltaica é indispensável que a disponibilidade e a intensidade da energia solar não sejam afetadas, desta forma, é preciso que seja verificado se há algum obstáculo que possa causar obstrução da radiação solar no local, como prédios, árvores ou qualquer outra coisa que possa causar sombra (BASTOS, 2018).

#### a) Irradiância solar local

De forma simplificada, pode-se explicar a irradiância solar como a quantidade de radiação solar chega até um local, nesse caso, a quantidade de radiação solar que índice sobre a edificação que receberá o sistema fotovoltaico. Para isso, utiliza-se o número de HSP (Horas de Sol Pleno) que corresponde o número de horas, onde a irradiância solar permanece equivalente a 1 Kw/metros quadrados, em conformidade a energia acumulada em todo o período do dia, sendo equiparada à fornecida pelo sol no local determinado (PINHO; GALDINO, 2014).

O número de HSP em horas pode ser encontrado a partir da equação 1.

$$HSP = \frac{\text{Irradiância (kwh/m}^2\text{)}}{1 \text{ (kw/m}^2\text{)}} \quad (1)$$

Para encontrar o valor da irradiância pode-se utilizar as coordenadas latitude e longitude do local na ferramenta *Sun Data* fornecida pelo CRESESB e *Global Solar Atlas*, as duas disponibilizadas na internet.

a) Análise de sombreamento e espaço físico

É possível obter esse parâmetro através da análise do local onde será instalado o sistema, a fim de verificar se existe algum obstáculo que possa comprometer ou limitar o funcionamento do sistema fotovoltaico como árvores, prédios etc.

b) Carga instalada

A carga instalada pode ser verificada através do projeto elétrico da edificação, onde pode-se fazer uma simulação da demanda de consumo de energia elétrica para obter o valor estimado de carga e consumo para a edificação. Entretanto, para se obter um resultado mais preciso, recomenda-se que seja realizada uma visita ao local onde pode-se obter informações sobre os aparelhos instalados, tempo de uso dos aparelhos, iluminação etc. Os valores podem ser calculados através de planilha e assim obtida a carga total instalada (PINHO; GALDINO,2014).

c) Consumo de energia

Assim como a carga instalada, pode-se obter o consumo médio de energia baseando-se no projeto elétrico, onde o consumo é previsto através dos equipamentos e quantidade de habitantes da residência. Entretanto, o ideal é que o valor utilizado seja o valor obtido através do cálculo da carga instalada feito anteriormente (BASTOS, 2018).

Para determinar o valor da energia de compensação em média diária, utiliza-se a equação 2:

$$ECD = \frac{\text{Geração mensal (kwh/mês)}}{30} \quad (2)$$

Onde:

ECD = Energia de compensação em média diária (kWh/dia).

Geração mensal = Valor total da carga instalada (kWh/mês).

Nesse momento é importante identificar também o tipo de ligação que será utilizado na edificação: monofásico, bifásico ou trifásico.

d) Demanda de energia

Nesse momento será feito o cálculo da potência de pico dos painéis para encontrar a quantidade de módulos que serão utilizados no sistema fotovoltaico (BASTOS, 2018). Para tal, é preciso ter em mãos os seguintes dados:

- Valor HSP (encontrado no item a).
- Energia de compensação em média diária (encontrada no item d).
- Taxa de desempenho estimado: 70 a 80% para sistemas fotovoltaicos.

Para o cálculo da potência de pico dos painéis fotovoltaicos em Kwp será utilizada a equação 3.

$$PVD = \frac{\frac{E}{TD}}{HPS} \quad (3)$$

Onde:

PVD = Potência de pico dos painéis (Kwp).

HPS = Horas de Sol Pleno (h).

E = Consumo diário médio anual.

TD = Taxa de desempenho.

## 2.6.2 Números e disposição de módulos fotovoltaicos

Após a análise do potencial energético da edificação é preciso escolher o modelo dos módulos fotovoltaicos escolhidos que irão compor o projeto de sistema fotovoltaico, a escolha pode ser feita através de orçamento ou fabricante. Para os cálculos a seguir, alguns dados precisam ser evidenciados, esses dados são encontrados nas especificações do módulo (PINHO; GALDINO,2014):

- Eficiência do módulo.
- Potência máxima nominal.

- Tensão de circuito aberto.
- Dimensões do módulo.

a) Cálculo da área do modulo

O cálculo da área do modulo fotovoltaico é obtido através das dimensões do módulo, essas dimensões são obtidas na escolha do módulo através das especificações. O cálculo é feito através da equação 4 (PIRES, 2015).

$$\text{Área do modulo} = l \cdot a \quad (4)$$

Onde:

l = comprimento do modulo (m).

a = largura do modulo (m).

A partir da área do modulo é possível calcular a área total do arranjo, para isso, é preciso calcular quantos módulos serão necessários para atender a potência total do sistema fotovoltaico calculada no item e (demanda de energia).

b) Quantidade de módulos

Para encontrar a quantidade de módulos necessários para atender a demanda do sistema 4 (PIRES, 2015), é utilizada a equação 5.

$$N \text{ módulos} = \frac{PFV}{P \text{ módulo}} \quad (5)$$

Onde:

PFV = Potência de pico dos painéis (Kwp).

P módulo = Potência de pico do módulo escolhido (Kwp).

c) Ligações do modulo

Na sequência serão estabelecidas as ligações dos módulos em série, paralelo ou ambos que compõem os controladores de carga, para tal a tensão de saída e a corrente gerada nos módulos não pode ultrapassar os valores máximos que permite na entrada do inversor.

Para o cálculo da tensão de entrada no inversor, pode-se utilizar o número de módulos ligados em série, primeiramente é importante salientar que a máxima tensão acontece quando o painel está em circuito aberto (BITTENCOURT, 2011). O cálculo do número máximo de módulos em série em  $V$  é feito através da equação 6.

$$N \text{ módulos em serie} = V_{oc} < VI_{m\acute{a}x} \quad (6)$$

Onde:

$V_{oc}$  = Painel está em circuito aberto.

$VI_{m\acute{a}x}$  = Entrada máxima permitida no inversor.

Esse parâmetro indicado na equação 6 irá determinar se os resultados estão em conformidade, indicando se possível realizar a ligação em série nos módulos.

Em seguida são analisadas as características de ligação em paralelo dos módulos já ligados em série. Para assegurar que o valor de corrente máxima na entrada do inversor não seja elevado a confirmação é feita através da equação 7 que determina o número máximo de ligações em paralelo dos módulos em série (BITTENCOURT, 2011).

$$N \text{ módulos em serie}_{paralelo} = \frac{li_{m\acute{a}x}}{l_{sc}} \quad (7)$$

Onde:

$li_{m\acute{a}x}$  = corrente máxima na entrada do inversor.

$l_{sc}$  = corrente de curto-circuito do módulo nas condições de teste padrão.

### 2.6.3 Escolha do inversor

Além de considerar fatores ambientais, econômicos e de desempenho, a escolha do inversor também deve ser estimada com base na potência do sistema fotovoltaico. O inversor pode ser determinado com base na potência de pico do sistema fotovoltaico, portanto a seleção pode ser feita levando-se em consideração a capacidade que atende a potência nominal (PIRES, 2015).

#### 2.6.4 Projeto elétrico

No projeto elétrico de sistemas fotovoltaicos, a seleção de condutores para equipamentos de baixa tensão e as características do dispositivo de proteção devem ser considerados, por exemplo, de acordo com as especificações da norma técnica NBR 5410. Além disso a parte padrão do condutor que deve ser integrada e instalada, melhorando a eficiência na execução do projeto, pode ser indicada tanto pelo fabricante quanto pela NBR 5410.

Caso o projetista deseje dimensionar a seção mínima do condutor, pode-se utilizar a equação 8.

$$S = \rho \cdot \frac{d \cdot I}{\Delta V} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (8)$$

Onde:

$\rho$  = Resistividade do material.

$d$  = Distância total do condutor.

$I$  = Corrente

$\Delta V$  = Queda de tensão tolerada no trecho

### 3 PARÂMETROS ANALISADOS NO PROJETO

#### 3.1 DADOS DO LOCAL

O estudo será aplicado em uma instituição de Ensino Público localizada no Estado de Goiás, na cidade de Anápolis GO. A instituição, Escola Municipal Realino José de Oliveira, situada no bairro Jandaia é uma escola de Ensino médio e Fundamental com capacidade máxima de 802 alunos. A Figura 06 ilustra a fachada da Escola Municipal Realino José de Oliveira e a Figura 07 a quadra poliesportiva onde será feito o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

**Figura 06 - Escola Municipal Realino José de Oliveira**



Fonte: AUTORAS, 2020.

**Figura 07 - Quadra poliesportiva**



Fonte: AUTORAS, 2020.

#### 3.2 PARÂMETROS COMPARATIVOS

Para a aplicação do estudo, serão realizadas análises técnicas dos sistemas de implementação propostos pelos possíveis fornecedores, itens necessários ao processo de construção de uma central de energia elétrica, assim como cálculos da geração de energia com base nas informações coletadas na própria Instituição de Ensino.

Para isso, foram utilizados alguns parâmetros que servirão como base para a análise, tais parâmetros são:

a) Parâmetros de projeto

Os parâmetros de projeto serão utilizados para dimensionamento do sistema de energia fotovoltaica, serão utilizados projetos arquitetônicos, elétrico para consulta de áreas, localização assim como apoio aos cálculos de demanda e estimativa de consumo.

b) Dimensionamento

No dimensionamento sistema de energia fotovoltaica para a instituição de ensino serão verificados parâmetros como: localização das instalações dos painéis solares, localização solar no local (horas de sol equivalente/dia), de acordo com a localização da edificação, inclinação dos painéis solares, número total de painéis solares, de acordo com a área total do telhado da quadra poliesportiva, inversor escolhido, potência e tensão dos painéis solares.

c) Levantamento de materiais

Será realizado também o levantamento dos materiais necessários para a implantação do sistema, tanto para apoio no dimensionamento, visto que alguns equipamentos precisam ser determinados para tal, quanto para a realização do orçamento.

d) Orçamento e financiamento

Com base nos parâmetros do dimensionamento e levantamento, será realizado o orçamento para a implantação do sistema de energia fotovoltaica na instituição de ensino. Será realizada também a simulação de um orçamento através de empresas que já fazem esse tipo de projeto e tenha esse contato com bancos.

e) Viabilidade econômica

Na viabilidade econômica serão analisados os parâmetros de custo x investimento, para verificar a viabilidade financeira da implantação desse sistema. Será analisada a taxa interna de retorno que irá fazer a análise da viabilidade de investimento no projeto. Após isso será apresentado o resultado da viabilidade ou não da implantação do sistema de energia fotovoltaica na Escola Municipal Realino José de Oliveira conforme proposto.

f) Geração Distribuída (Rateio)

Por fim, será analisada a possibilidade da distribuição dos créditos excedentes para outras unidades consumidoras constituídas pela mesma titularidade.

## 4 ESTUDO DE CASO

Para atender aos objetivos propostos no estudo, foi realizado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma instituição de Ensino Público localizada na cidade de Anápolis GO. A Instituição se trata de uma escola de Ensino Médio e Fundamental com capacidade máxima de 802 alunos.

Os cálculos foram realizados baseando-se no passo-a-passo apresentado no Capítulo 02. A seguir foi apresentado o memorial de cálculo do projeto.

### 4.1 CONSUMO DA UNIDADE CONSUMIDORA

#### a) Parâmetros do Projeto

A Secretaria da Educação de Anápolis GO, cedeu através de ofícios uma planilha de consumo mensal e o projeto elétrico da Escola Municipal Realino José de Oliveira.

Foi utilizado como parâmetro o consumo mensal, porém foram feitas alterações no período do mês de dezembro de 2019 com a instalação de 17 aparelhos de refrigeração Ar-condicionado com potências diferentes conforme informado no Quadro 02, sendo assim aumentando consideravelmente o consumo mensal.

No primeiro trimestre de 2020 a aulas foram suspensas e assim não houve utilização do sistema até o ano de 2021, ocasionando na necessidade de realizar uma estimativa do consumo atual.

O Quadro 01 indica o consumo de energia das Unidades Escolares e Centros Municipais de Educação Infantil - Julho a dezembro 2019.

**Quadro 01 – Quadro de Consumo em kWh/mês**

Consumo de energia das Unidades Escolares e Centros Municipais de Educação Infantil - Julho a dezembro 2019									
Unidade Escolar	UNIDADE CONSUMIDORA	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	TOTAL	MÉDIA
E. M. Realino José de Oliveira	20523350	249,11	313,6	338,92	572,39	750,82	158,7	2.383,54	<b>397,26</b>
Quadra	10013227619								

Fonte: SECRETARIA MUNICIPAL DA EDUCAÇÃO DE ANÁPOLIS, 2020 (Adaptado).

Para o dimensionamento é necessário o consumo total médio da unidade consumidora, como o consumo da fatura sofreu aumento foi feita uma estimativa do aumento e posteriormente acrescentado o consumo médio no valor de 397,26 kWh/mês obtido no Quadro 01.

Foram acrescentados 17 aparelhos de ar-condicionado com potencias diferentes, conforme apresentado no Quadro 02.

**Quadro 02 – Relação das Potências do Ar-Condicionado**

QTD	Potência (BTU)	Potência (Watts/h)
1	60.000	5,38
14	28.000	2,51
2	9.000	0,81

Fonte: MATTEDE, 2021.

Para a estimativa de consumo do ar-condicionado, levou-se em consideração que o colégio funciona de segunda a sexta, em dois turnos seguidos, matutino e vespertino e com horários fixos de funcionamento das 07:00h da manhã às 18:00h da tarde.

A estimativa do consumo com ar-condicionado demonstrada no Quadro 02 foi obtida através do seguinte cálculo:

$$AR \rightarrow BTU \text{ para } W/h \rightarrow \frac{BTU * 0,293}{3,27} = W/h$$

$$01 \text{ Ar condicionado de } 60.000 \text{ BTU} = 5,38 \text{ W/h cada}$$

$$02 \text{ Ar condicionado de } 9.000 \text{ BTU} = 0,81 \text{ W/h cada}$$

$$14 \text{ Ar condicionado de } 28.000 \text{ BTU} = 2,51 \text{ W/h cada}$$

Já o consumo mensal foi calculado tendo-se como base a potência em W/h multiplicado pela quantidade de horas em uso e quantidade de dias utilizados, sendo:

$$5,38 \text{ W/h} * 11 \text{ h} * 22 \text{ dias} = 1.299,54 \text{ kWh/mês}$$

$$0,81 \text{ W/h} * 11 \text{ h} * 22 \text{ dias} = 195,15 \text{ kWh/mês}$$

$$2,51 \text{ W/h} * 11 \text{ h} * 22 \text{ dias} = 607,14 \text{ kWh/mês}$$

Multiplicando os consumos obtidos com a quantidade de cada equipamento obteve-se o consumo total de Ar-Condicionado de 10.189,8 kWh/mês.

Tendo-se como base a NTC- 04 foi calculada a demanda. A Figura 08 ilustra os fatores de demanda de aparelhos de ar-condicionado.

**Figura 08 - Componentes da placa fotovoltaica**

FATORES DE DEMANDA DE APARELHOS DE AR CONDICIONADO		
NÚMERO DE APARELHOS	FATOR DE DEMANDA (%)	
	COMERCIAL	RESIDENCIAL
1 a 10	100	100
11 a 20	90	86
21 a 30	82	80
31 a 40	80	78
41 a 50	77	75
51 a 75	75	70
76 a 100	75	65
Acima de 100	75	60

**Notas:**  
 1) Quando se tratar de unidade central de condicionamento de ar deve-se tomar o fator de demanda igual a 100%.  
 2) A tabela acima aplica-se a aparelhos de ar condicionado tipo split ou janela.

Fonte: NTC-04, 2016

Como a quantidade total de aparelhos de Ar-Condicionado equivale a 17 unidades e a unidade equivale a uma edificação residencial, para obter o consumo conforme NTC-04 multiplicou-se o consumo/mês pelo fator de demanda demonstrado na figura 08.

$$10.189,80 \text{ kWh/mês} * 0,9 = 9.170,82 \text{ kWh/mês}$$

Obtendo assim um consumo total referente aos aparelhos de ar-condicionado igual a 9.170,82 kWh/mês. Ora, para se obter o consumo total esse valor obtido foi somado ao consumo médio atual da escola apresentado no Quadro 01.

$$9.170,82 + 397,26 = 9.568,08 \text{ kWh/mês}$$

Logo, o consumo total mensal da escola com os aparelhos de ar-condicionado é de 9.568,08 kWh/mês.

#### 4.2 DIMENSIONAMENTO

Para dimensionar um sistema fotovoltaico é preciso realizar uma análise do local. Nesse sentido, o primeiro ponto considerado no dimensionamento do sistema fotovoltaico da escola foi o tipo de estrutura.

No caso da Escola Municipal Realino José de Oliveira o sentido do telhado totalmente norte e inclinação de 30° sem perdas de produção. O telhado e sua estrutura são toda em metálico em bom estado de conservação presumivelmente, com área total de 985,56 m<sup>2</sup> segundo projeto.

Para melhor aproveitamento do potencial energético será utilizado principalmente o telhado no sentido norte e sem pontos próximos que possa causar sombreamento nos módulos assim não possui percas. A vista da estrutura do telhado pode ver observada através da Figura 09.

**Figura 09 - Vista estrutura do telhado**



Fonte: AUTORAS, 2021.

Foi utilizado o programa Google Earth Pro nas coordenadas do colégio para pesquisar informações geográficas do local. Na (Figura 10) observa-se que metade do telhado está sentido norte e outra metade em sentido sul, para melhor aproveitamento do potencial energético vai ser usado o telhado no sentido norte.

No que diz respeito a pontos próximos que possam afetar a geração causar sombreamento nos módulos foi feita a visita ao local e constatado que embora exista uma árvore próxima o sombreamento não atinge a área da colocação dos módulos assim não possui percas.

**Figura 10 - Sentido do telhado**

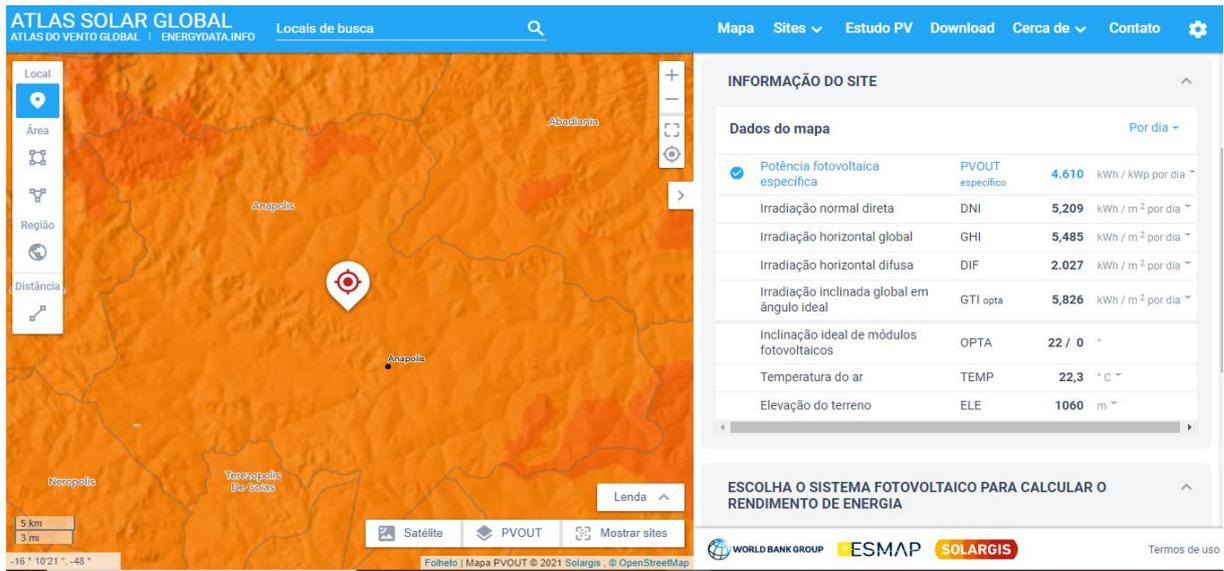


Fonte: GOOGLE EARTH, 2021.

O colégio se localiza no interior de Goiás, Município de Anápolis é uma unidade consumidora que possui cabeamento trifásico. Entre os estados brasileiros, Goiás é um dos estados com maior potencial de produção de energia solar, com índice anual de radiação solar entre 2.000 e 2.500 horas de sol, superior à média nacional, logo Anápolis possui uma boa capacidade para a instalação desse tipo de sistema.

Para demonstrar o potencial de irradiação foi feito um estudo da radiação através do site GLOBAL SOLAR ATLAS, ilustrado na Figura 11:

**Figura 11 - Irradiação solar de Anápolis coordenadas da escola**



Fonte: GLOBAL SOLAR ATLAS, 2021.

A partir daí, determinou-se que a coordenada possui uma ótima irradiação, o programa também concluiu que a melhor inclinação seria 22° (graus).

Foi utilizada também a ferramenta *SunData*, onde foi possível obter informações importantes para a realização do projeto, por ser uma ferramenta mais específica, a mesma informa os valores conforme a variação de cada mês, sendo usada para o Cálculo no Plano Inclinado e Irradiação solar no plano horizontal.

Ao realizar o cálculo de geração mensal é necessário o dado de irradiação solar diária média [kWh/m<sup>2</sup>.dia], no qual é considerado a média dos meses calculando-se o número Horas de Sol Pleno.

$$HSP = \frac{5,21}{1} = 5,21 \text{ kWh/m}^2$$

A figura 12 ilustra a irradiação solar de Anápolis coordenadas da escola.

**Figura 12 - Irradiação solar de Anápolis coordenadas da escola**

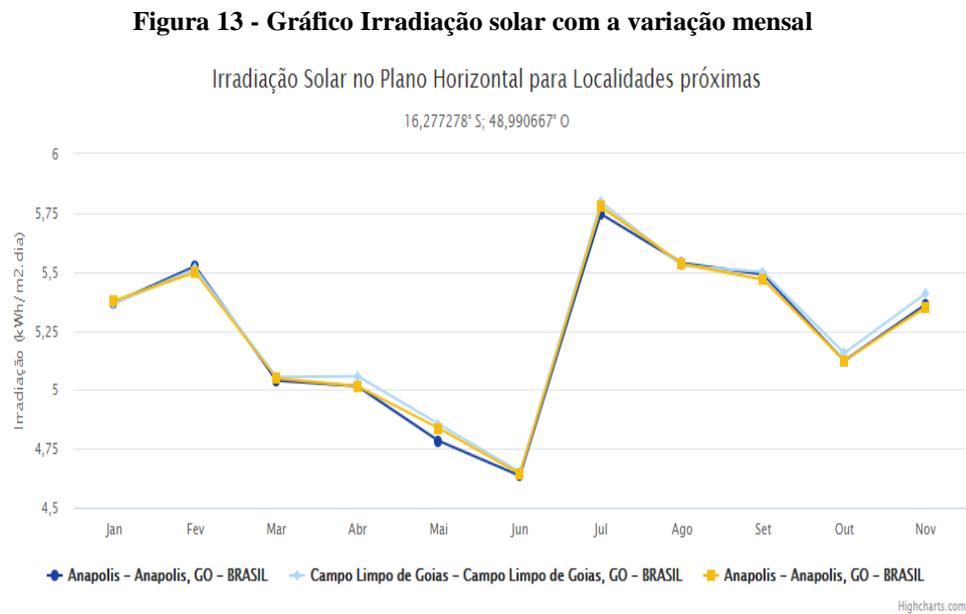
Localidades próximas

Latitude: 16,277278° S  
Longitude: 48,990667° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
✓	Anápolis	Anápolis	GO	BRASIL	16,301° S	48,949° O		5,2	5,37	5,52	5,04	5,01	4,78	4,64	4,90	5,75	5,54	5,49	5,12	5,36	5,21	1,11
✓	Campo Limpo de Goiás	Campo Limpo de Goiás	GO	BRASIL	16,301° S	49,049° O		6,8	5,37	5,51	5,06	5,06	4,86	4,65	4,90	5,80	5,53	5,50	5,16	5,41	5,23	1,14
✓	Anápolis	Anápolis	GO	BRASIL	16,201° S	48,949° O		9,6	5,38	5,50	5,05	5,01	4,84	4,64	4,90	5,78	5,53	5,47	5,12	5,35	5,21	1,13

Fonte: CRESESB, 2021.

A figura 13 ilustra o gráfico Irradiação solar com a variação mensal.



Fonte: CRESESB, 2021.

A geração de cada mês é variável, pois ela é dependente de vários fatores e todos influenciam em grande proporção o valor gerado, como irradiação do dia, conservação dos módulos e irradiância refletida de modo preciso se refere a conceito denominado Albedo, que é o atributo que uma estabelecida superfície tem de refletir a radiação solar.

Conjuntamente existe um mito que a chuva é uma grande aliada da geração, porém ela comete uma limpeza artificial causando sujeiras nas bordas dos módulos, manchas e película de sujeira com consistência sebosa, conforme ilustrado na Figura 14.

**Figura 14 - Placa com sujeira acumulada**



Fonte: SAKÔ, 2020.

Por questão de espaço foi escolhido o módulo solar fotovoltaico com potência de 410w é ideal para nosso tipo de sistema conectados à rede (*on-grid*), possui baixo peso, é aplicável em instalações horizontais e verticais e é compatível com todos os padrões de coberturas ele possui um diferencial inovador sendo bifacial (produz energia dos dois lados) podendo ter uma eficiência de até 20% a mais de geração.

O Pannel Solar Jinko Bifacial 410W apresentam os seguintes dados elétricos, em suas especificações, conforme figura 15.

**Figura 15 - Pannel Solar Jinko Bifacial 410W**



Fonte: ALDO SOLAR, 2021.

Segundo os dados do fabricante ou *DataSheet* do módulo, é possível obter informações importantes para o dimensionamento como: Eficiência do módulo, Potência máxima nominal, Tensão de circuito aberto, Dimensões do módulo e registro Inmetro.

O quadro 03 demonstra os dados do fabricante.

**Quadro 03 – Dados do fabricante**

Dados do fabricante:	
Potência no ponto máximo de potência	410W
Tensão no ponto máximo de potência	41,13V
Corrente no ponto máximo de potência	9,97 <sup>a</sup>
Tensão em Circuito Aberto	48,97V
Corrente de Curto-Circuito	10,66 <sup>a</sup>
Eficiência	20,03%
Tolerância de potencias positiva	0~+3W
Desempenho mínimo sob condições de teste padrão STC	(1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C, espectro AM 1,5 G).

Fonte: JINKO SOLAR, 2021 (Adaptado).

O Quadro 04 demonstra os dados mecânicos do fabricante.

**Quadro 04 – Dados mecânicos do fabricante**

Dados mecânicos
Tensão Máxima do Sistema 1500V;
Formato 2031 mm × 1008 mm × 30 mm (incluindo a estrutura);
Peso 26,6 kg;
Célula 6 × 24 – 144 meias células fotovoltaicas mono perc;
Caixa de junção Classe de proteção IP67;
Comprimento do cabo (+) = 290 mm, (-) = 145 mm.
INMETRO: N° Registro: 000696/2020

Fonte: JINKO SOLAR, 2021 (Adaptado).

Para o dimensionamento dos módulos foi cogitado um projeto que supra o valor de consumo total do colégio e ainda tenha uma sobra em crédito de energia. Pensado nisso foi escolhido uma quantidade que não ultrapasse 190 módulos solares, e que supra o valor do consumo total 9.568,08 KWh/mês.

Para isso foi considerado o número de placas, multiplicado ao coeficiente da placa, irradiação solar diária média, quantidade de dias no mês e meses do ano.

$$\text{Geração mensal} = \frac{190 * 410 * 0,80 * 5,21 * 30 * 12}{1000} = 9,875,90 \text{ kWh/mês}$$

Após o cálculo da geração do sistema foi calculada a energia de compensação em média diária.

$$EDC = \frac{9,875,90}{30} = 329,19 \text{ kWh/dia}$$

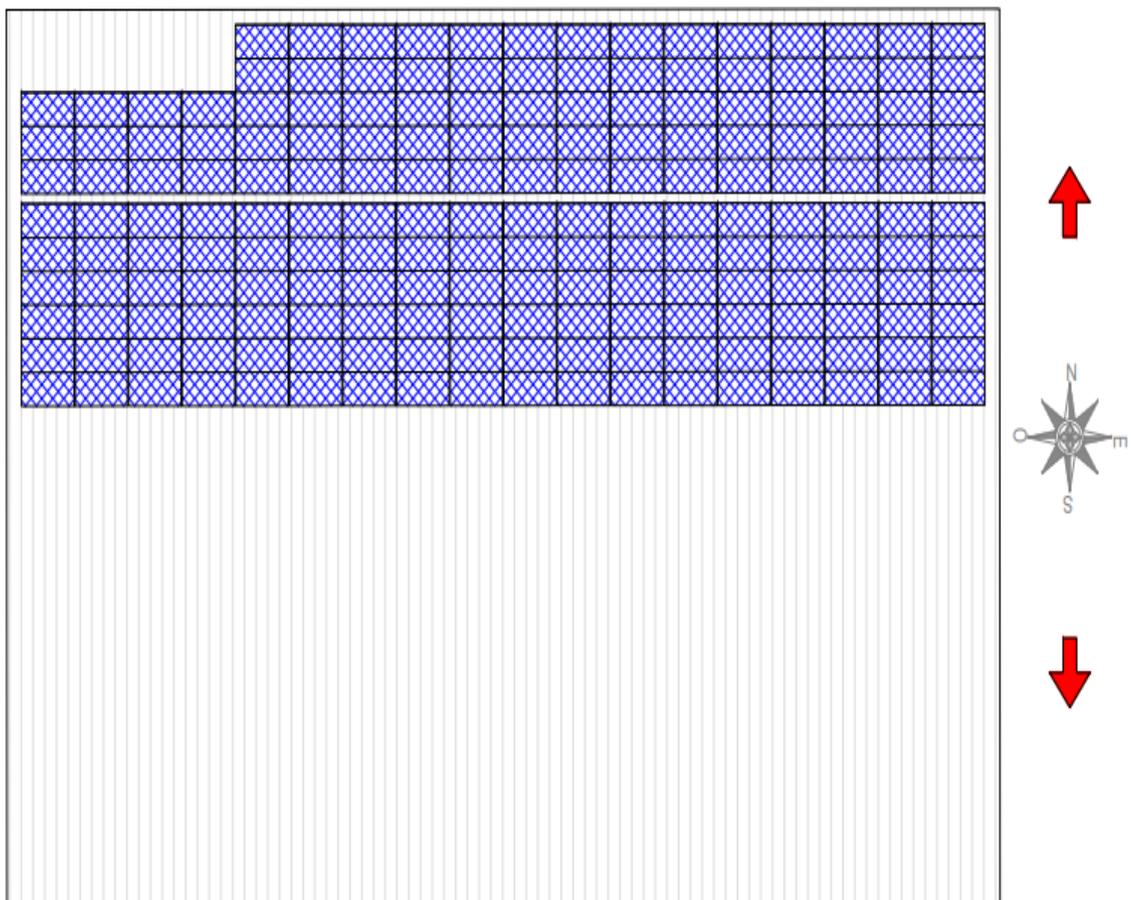
Posteriormente, foi calculada a área do módulo, obtida através das dimensões do módulo escolhido.

$$AM = 2,031 \text{ m} * 1,008 \text{ m} = 2,08 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 2,08 \text{ m}^2 * 190 \text{ módulos} = 395,20 \text{ m}^2$$

Com base nessas informações, foi definida a localização dos módulos, seguindo o sentido do telhado conforme ilustrado na figura 16.

**Figura 16 - Sentido do telhado**



Fonte: AUTORAS, 2021.

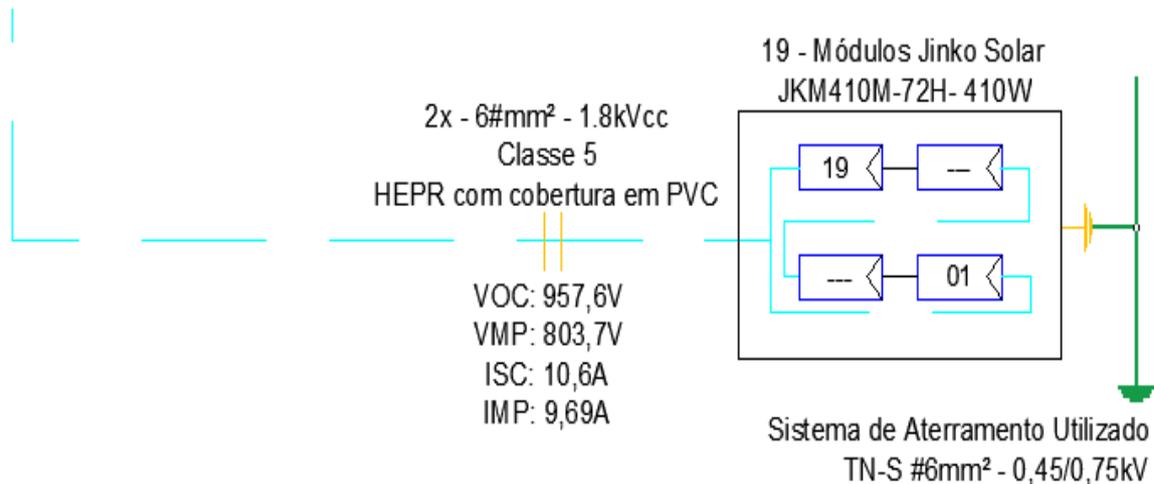
As ligações dos módulos em série foram estabelecidas por meio das equações 06 de forma que o cálculo da tensão de entrada no inversor, foi utilizado o número de módulos ligados em série.

$$N \text{ módulos em serie} = V_{oc} < VI_{m\acute{a}x}$$

$$N \text{ módulos em serie} = 957,6V < 1100V$$

A composição dos arranjos se deu conforme especificado na figura 17.

**Figura 17 - Arranjo unitário dos módulos**



Fonte: AUTORAS, 2021.

#### 4.2.1 Escolha do inversor

Foi optado por 01 inversor (*on-grid*) produzido pelo fabricante Growatt de modelo MAC60KTL3-X LV, com potência de até 60KW, instalação em residência trifásica 380V, com 12 entradas, 3 MPPT, Proteção CC interna e monitoramento *wi-fi* online possibilitando ter acesso aos valores de geração em tempo real. Com garantia de 5 anos de fábrica.

É certificado pelo Inmetro e aceito pela concessionária de Energia Enel responsável pela distribuição de energia de Anápolis, o que é muito importante para aprovação do projeto.

A figura 18 ilustra o modelo de inversor escolhido.

**Figura 18 - Inversor solar fotovoltaico on grid Growatt**

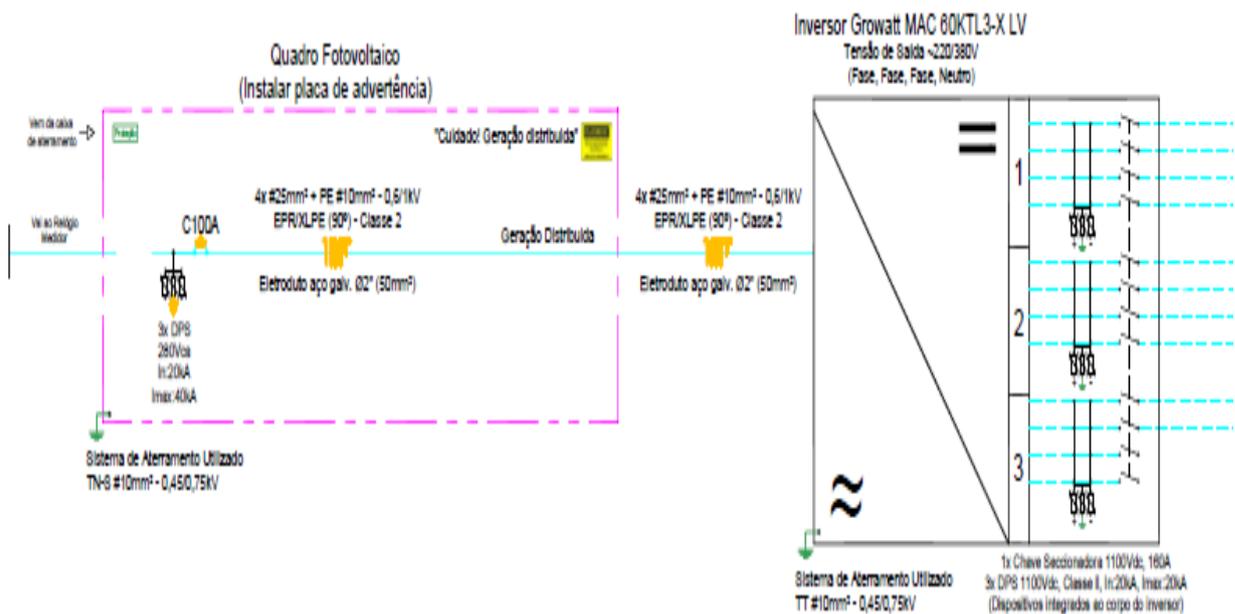


Fonte: ALDO, 2021.

Segundo o fabricante o inversor possui uma tolerância de 60kw, suportando até 220 módulos de 410 assim permitindo uma futura ampliação do sistema atual, deve-se considerar a potência em painéis 30% maior do que a potência do inversor.

A Figura 19 ilustra a ligação do inversor e quadro de distribuição.

**Figura 19 - Ligação inversor e quadro de distribuição**

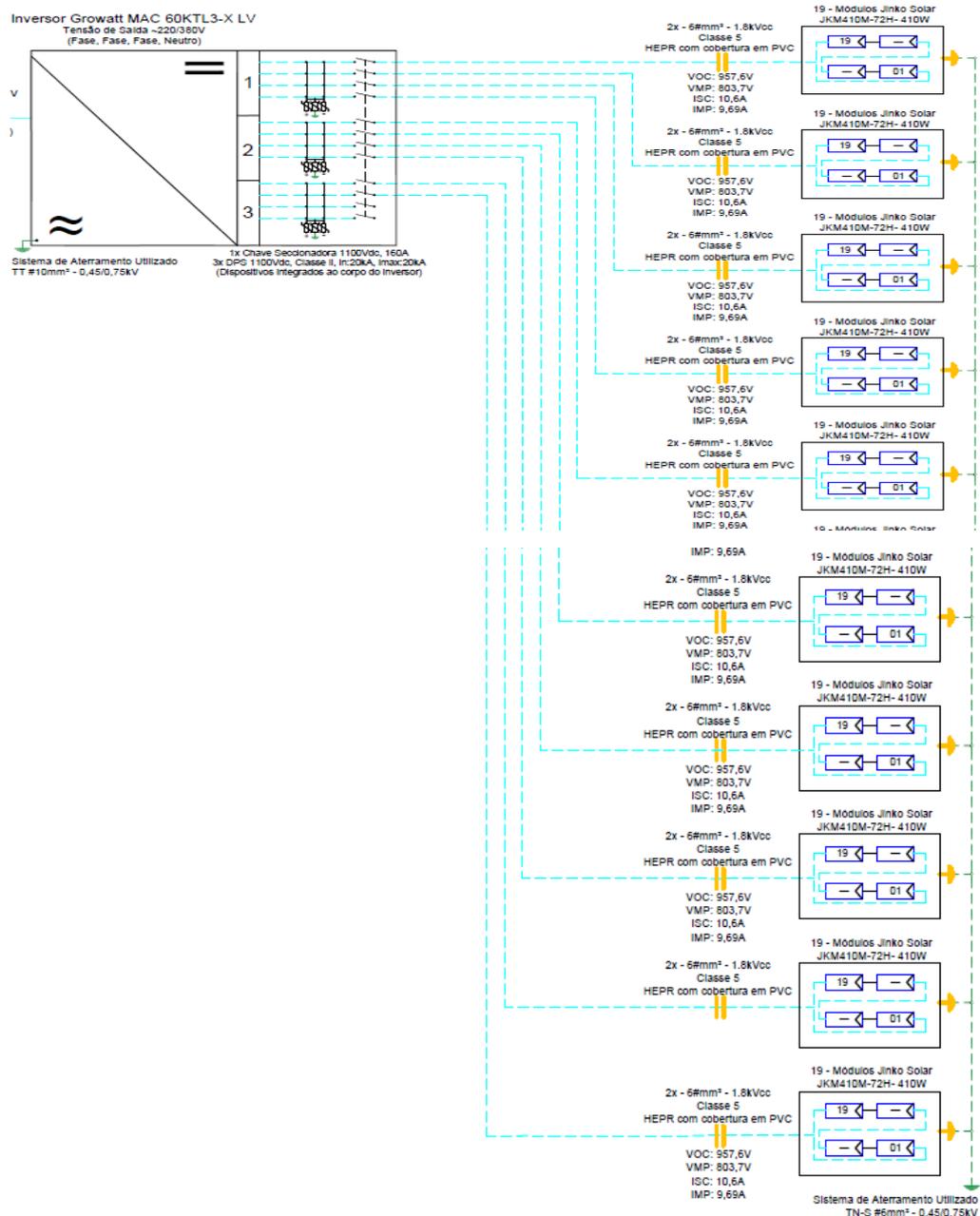


Fonte: AUTORAS, 2021.

Serão ligados 10 arranjos de 19 módulos cada arranjo, ligadas na MPPT1, MPPT2 E MPPT3 do inversor, como o inversor está subdimensionado poderá futuramente ser feita uma ampliação no sistema suportando mais 2 arranjos de 19 módulos na MPPT 3.

A figura 20 ilustra a ligação inversor/módulo.

Figura 20 - Ligação inversor/módulo



Fonte: AUTORAS, 2021.

Para este sistema de geração solar fotovoltaico, é recomendado sempre que evite um superdimensionamento do inversor, devidamente chamado de *Oversizing*, é indicado que a

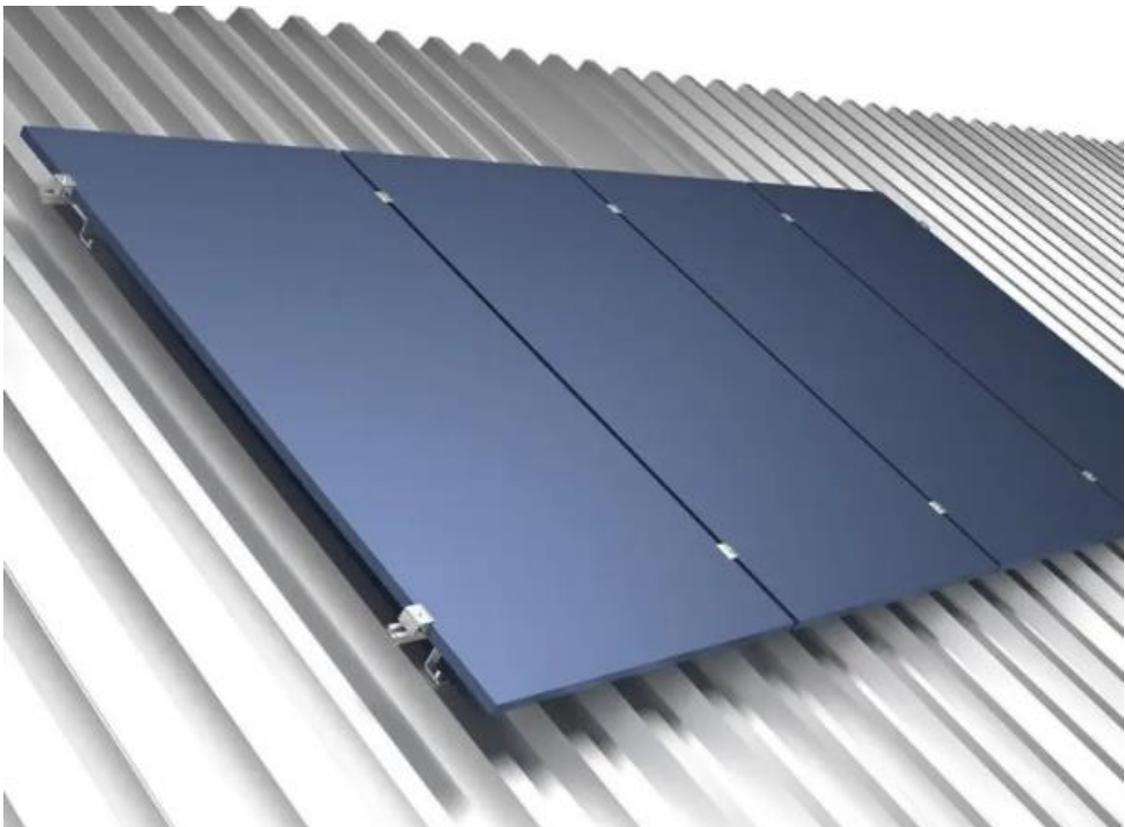
potência total dos inversores não seja igual ou maior que a potência- pico dos painéis fotovoltaico, isso por que os módulos classificados podem ultrapassar a geração de sua classificação fornecida pelo fabricante, com isso devermos considerar uma margem de segurança de 30% menor que a potência pico dos painéis, evitando também um desperdício de geração (isso por que o inversor vai limitar essa geração) ou possíveis defeitos no inversor.

#### 4.2.2 Escolha do Suporte

Em decorrência de otimização de tempo e economia, foi escolhido uma estrutura pronta modelo: 411844 RS-225 4 PAINÉIS FIXADOR Z TELHA ONDULADA, própria para telhado metálico e ondulado, Inclinação adaptável, Facilidade de transporte e montagem, Projetado para instalar em vários tipos de telhado sem a necessidade de alteração na estrutura do telhado e Peso reduzido em comparação outros similares no mercado, sendo Peso bruto: 3,1Kg e Dimensão: 15cm x 17cm x 23cm, cada estrutura suporta até 4 placas. Com Valor total de R\$428,00 saindo a R\$107,00 para cada modulo.

A figura 21 ilustra a estrutura de fixação do telhado.

**Figura 21 - Estrutura de Fixação telhado**



Fonte: ALDO SOLAR, 2021.

O quadro 05 demonstra os componentes que acompanham a estrutura.

**Quadro 05 - Componentes que acompanham a estrutura.**

ESTRUTURA ACOMPANHA:	
08 chapa de fixação Z	
08 parafuso T	
08 porca sextavada M-10	
08 Arruela lisa 22x2x11mm	
06 conjunto Mid Clamp	
04 conjunto End Clamp	
08 parafuso brocante para telha	
08 borracha nitrílica 50x30mm	
08 arruela de pressão M-10	
10 parafuso allen M-6x40mm inox AISI 304	
10 porca quadrada M-6 inox AISI 304	
10 arruela de pressão M-6 inox AISI 304	
2 perfil de 4,15Mt em alumínio	

Fonte: ALDO SOLAR, 2021 (Adaptado).

#### 4.3 VALOR DA ENERGIA DE COMPENSAÇÃO EM MÉDIA DIÁRIA

##### 4.3.1 Etapas de aprovação projeto

É preciso seguir todo um cronograma para que seja feita o projeto fotovoltaico ele abrange responsável técnico, projetista, instalação e fiscalização da concessionária. Conforme a (tabela 06) o prazo para realizar cada etapa e o prazo mínimo para instalação de um projeto, considerando que não venha ter imprevistos e reprovação do projeto.

O quadro 06 demonstra os prazos do projeto.

**Quadro 06 – Prazos do projeto**

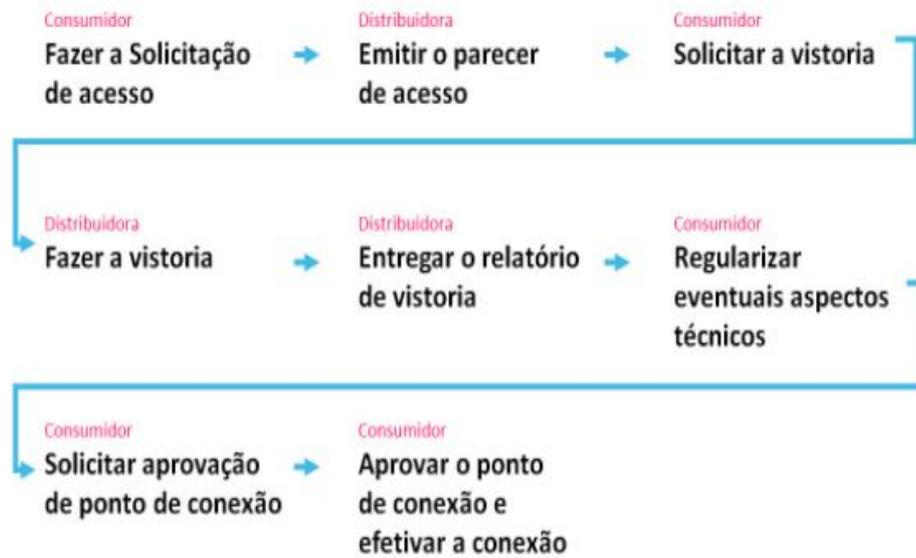
Prazos do Projeto	
Elaboração e Submissão do projeto	até 10 dias
Entrada processo – Enel	até 15 dias
Compra e instalação	até 20 dias
<b>Prazo total para funcionamento do sistema</b>	<b>45 dias</b>

Fonte:

AUTORAS, 2021.

Após a instalação completa, é necessário dar entrada ao processo de aprovação perante a concessionária nas seguintes etapas conforme demonstrada na (Figura 22).

**Figura 22 - Fluxograma da documentação da concessionária de energia**



Fonte: ENEL, 2021.

A Figura 23 ilustra o cronograma de aprovação perante a concessionária.

**Figura 23 - Tabela cronograma da concessionária de energia**

**Tempo necessário (em dias):**

	Micro s/obra	Mini s/obra	Micro c/obra	Mini c/obra
Emitir Parecer	15	30	30	60
Solicitar vistoria		120		
Realizar vistoria		7		
Entregar relatório de vistoria		5		
Aprovação ponto conexão		7		

Fonte: ENEL, 2021.

A estimativa para realização desse projeto tem um prazo de até 244 dias, porém raramente é feito durante este prazo em sua grande maioria o processo leva 60 dias e somente após a aprovação do projeto é autorizado o funcionamento do sistema fotovoltaico. Em toda a etapa é obrigatório o uso das normas técnicas para a realização das atividades são elas:

- Norma ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
- NBR 16690:2019 - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos;
- Norma ABNT NBR 16274:2014 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede;
- Norma ABNT NBR 16612:2020. Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos;
- NBR 5419-1:2015 - Proteção contra descargas atmosféricas;
- NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;
- NR 35 – Trabalho em Altura;
- ART do projeto/instalação.

#### 4.3.2 Orçamento e financiamento

Com base no *Datasheet* do inversor e modulo solar, as especificações técnicas e normas técnicas foi realizado o orçamento de todos os materiais e serviços necessários para realização da instalação do sistema fotovoltaico.

O quadro 07 demonstra o orçamento.

**Quadro 07 – Orçamento**

**(Continua)**

Orçamento	Quantidade	Valor Unit.	Valor total
STAUBLI CONECTOR MC4 320016P0001-UR PV-KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA	30	R\$ 6,00	R\$ 180,00
STAUBLI CONECTOR MC4 32.0017P0001-UR PV-KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO	30	R\$ 6,00	R\$ 180,00
CABO SOLAR NEXANS 40023 ENERGYFLEX AFITOX 0,6/1KV 1500V DC PRETO - 500 metros	2,5 rolos	R\$ 1.500,00	R\$ 3.750,00
CABO SOLAR NEXANS 47819 ENERGYFLEX AFITOX 0,6/1KV 1500V DC VERMELHO - 500 metros	2,5 rolos	R\$ 1.500,00	R\$ 3.750,00
INVERSOR SOLAR GROWATT ON GRID MAC60KTL3-X LV 60KW TRIFASICO 380V 3MPPT 12 ENTRADAS MONITORAMENTO	1	R\$26.255,00	R\$ 26.255,00

## Quadro 07 – Orçamento

(Continuação)

ESTRUTURA SOLAR ROMAGNOLE 411845 RS-183C 4 PAINES TELHA METALICA PERFIL 55CM	48	R\$ 428,00	R\$ 20.544,00
PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO JINKO JKM410M-72H-MBB-BDVP SWAN BIFACIAL 410W 144 CEL MONO HALF 20,03% EFICI	190	R\$ 1.000,00	R\$190.000,00
QUADRO DE PROTEÇÃO CA	1	R\$ 35,10	R\$ 35,10
DISJUNTOR TRIPOLAR 100A WEG	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
DPS TRIPOLAR CLAMPER Solar 1040V 40kA	1	R\$ 149,90	R\$ 149,90
PLACA DE ADVERTENCIA	2	R\$ 3,00	R\$ 6,00
INSTALAÇÃO E PROJETO	-	-	R\$ 5.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$250.000,00</b>
Observação: Cotação feita dia 10/02/2021.			

Fonte: AUTORAS, 2021.

## 4.3.3 Financiamento

Uma simulação do financiamento foi feita online pelo site da Empresa “Aldo Solar” que é Fabricante, Distribuidora e revendedora no ramo de energia solar fotovoltaica, utilizando um CPF com movimentação baixa, já que a taxa de juros estipulado por uma agencia bancaria vai variar conforme a movimentação do titular. Segundo o mesmo realizado uma simulação em 60 vezes com uma taxa de juros de 0,5421%, somando o valor total de R\$132.500,00.

O quadro 08 ilustra o valor do financiamento.

## Quadro 08 – Valor do financiamento

Sistema fotovoltaico	R\$250.000,00
Financiamento	R\$132.500,00.
<b>Valor total</b>	<b>R\$ 385.500,00</b>
<b>Valor parcelado</b>	<b>60 x R\$ 6.425,00</b>

Fonte: ALDO, 2021 (Adaptado).

## 4.3.4 Viabilidade econômica

Quando foi feito uma pesquisa da viabilidade financeira, foi descoberto que seria obrigatório efetuar um pagamento mensal para a concessionária regulado pela (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL) na Resolução nº 414 de 2010, sendo o consumo mínimo pelo uso da rede elétrica da concessionária chamado de “Custo de disponibilidade”.

Calculado pelo tipo do Padrão da unidade consumidora sendo apresentado no Quadro 09.

**Quadro 09 – Tabela Consumo**

Tipo do Padrão	Consumo mínimo
Monofásico	30 kWh
Bifásico	50 kWh
Trifásico	100 kWh

Fonte: AUTORAS, 2021.

Observa se na Figura 24 um modelo em que na fatura já vem informando qual o tipo do padrão tendo-se ideia de qual o valor de disponibilidade a ser pago.

**Figura 24 - Modelo fatura com consumo mínimo parte 2**

Descrição de Faturamento				Bandeira(s) Tarifária(s) aplicada(s) no mês AMARELA - MAIS INFORMAÇÕES EM WWW.ANEEL.GOV.BR			
	QUANTIDADE	TARIFA	VALOR		QUANTIDADE	TARIFA	VALOR
AD. BAND. AMARELA EN. ATIVA FORN.	100,00	0,020370	R\$*****2,03	VALOR MIN. FATURÁVEL CUSTO DISP	100,00	0,830560	R\$*****83,05
CONTRIB. ILUMINAÇÃO PÚBLICA - MUNICIPAL			R\$*****6,63				
							TOTAL A PAGAR R\$*****91,71
	LEITURA ANTERIOR	LEITURA ATUAL	TOTAL INJETADO	TRIBUTOS			
ENERGIA TOTAL GERAÇÃO	46843	52413	5570,00	IMPOSTO	ALÍQUOTA	BASE DE CÁLCULO	VALOR
				PIS/PASEP	0,9087%	85,08	0,77
				ICMS	29%	85,08	24,67
				COFINS	4,1853%	85,08	3,56

**Mensagens**

CRÉDITO DE ENERGIA: GERAÇÃO ÚLTIMO CICLO (2/2021) KWH: ATV=5.570,00, CRÉDITO RECEBIDO KWH: ATV=5.570,00, SALDO KWH: ATV=5.570,00, SALDO A EXPIRAR EM 30 DIAS KWH: ATV=0,00, SALDO A EXPIRAR EM 60 DIAS KWH: ATV=0,00, CADASTRO RATEIO GERAÇÃO: UC PERÍODO DE REFERÊNCIA DA APURAÇÃO DOS INDICADORES DE CONTINUIDADE = 12/2020. EUSD = R\$ 30,00000  
 PARCELA : USO SISTEMA = R\$ 38,10 FORNECIMENTO = R\$ 38,62 USO TRANSMISSÃO = 4,5000 ENC. SETORIAL = 3,8600  
 FATURA COM LANÇAMENTO PARA DÉBITO AUTOMÁTICO EM CONTA CORRENTE

Fonte: ENEL,2021.

O modelo de fatura representa uma unidade que não possui consumo é apenas uma unidade geradora, porém a mesma será composta por custo de disponibilidade, contribuição iluminação pública mais adicionais de Bandeiras Tarifárias. Independente de não ter consumo e da mesma ter uma geração suficiente para abater o consumo total é obrigatório pagar a taxa referente a esse consumo.

No caso da escola, que compra a energia diretamente da rede distribuidora, ao instalar o sistema de energia solar fotovoltaica *on-grid* (conectada à rede convencional de energia), pode utilizar o sistema de compensação de créditos, também conhecido como rateio (Distribuição de créditos).

Para estabelecer a regulamentação necessária para o acesso de microgeração e geração distribuída, sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de créditos foi instituída em 24 de novembro de 2015 a Resolução Normativa N° 687, também chamada de lei de incentivo a energia solar.

Além disso, de acordo com a Lei n° 13.169 de 06 de outubro de 2015 em seu Art. 08:

Ficam reduzidas a zero as alíquotas da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para Financiamento da Seguridade Social - COFINS incidentes sobre a energia elétrica ativa fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica ativa injetada na rede de distribuição pela mesma unidade consumidora com os créditos de energia ativa originados na própria unidade consumidora no mesmo mês, em meses anteriores ou em outra unidade consumidora do mesmo titular, nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica para microgeração e minigeração distribuída, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (BRASIL, 2015)

O projeto em questão foi feito com uma capacidade de geração superior à demanda e que a unidade consumidora em questão é uma unidade que tem 2 meses com esse custo reduzido por questões de período de férias é considerado a hipótese do crédito excedente ser transferido para qualquer unidade consumidora assim colaborando com uma economia aos cofres públicos municipal, podendo ser abatido em outra escola, hospitais, creche e etc.

#### 4.3.5 Viabilidade

Sendo uma instalação Trifásica e que será optado por um financiamento além da parcela do financiamento será cobrado os valores mensais conforme Quadro 10 a taxa utilizada é referente ao mês de março de 2020.

A taxa da Enel é variável dependendo do mês e ano, nessa projeção foi considerada a tarifa de R\$ 0,83056, e somente a taxa de bandeira vermelha, porém em caso de uma unidade pertencente ao Grupo “A”, que é empresarial tem outras taxas e no caso de Grupo “B” também existe a taxa de bandeira amarela. Como no período da pesquisa essa taxa de bandeira amarela não estava sendo usada não foi calculado ultimando a mesma.

**Quadro 10 – Comparativo de valores com e sem a implementação**

(Continua)

<b>Valor mensal sem implementação</b>	<b>Tarifa</b>	<b>Valor</b>
Contribuição iluminação pública	-	R\$ 6,63
Energia Consumida	0,83056	R\$7.946,87
Adicional bandeira vermelha	0,02037	R\$194,90
<b>Total</b>		<b>R\$ 8.148,40</b>

Quadro 10 – Comparativo de valores com e sem a implementação

(Continuação)

Valor mensal até 5 anos após implementação	Tarifa	Valor
Contribuição iluminação pública	-	R\$ 6,63
Custo de disponibilidade	0,83056	R\$ 83,05
Adicional bandeira vermelha	0,02037	R\$ 2,03
Financiamento mensal parcelado em 60 vezes	-	R\$ 6.425,00
<b>Total</b>		<b>R\$ 6.516,71</b>

Fonte: AUTORAS, 2021.

Mesmo com o financiamento acrescentando um valor de juros de R\$132.500,00 o valor pago pelo colégio mensalmente é menor do que o valor a ser pago atualmente para a concessionária, isso pelo prazo de 5 anos, após esse prazo o financiamento é quitado e o valor mensal é da fatura e taxas conforme o Quadro 11.

Quadro 11 – Valor mensal após 5 anos

Valor mensal após 5 anos	Tarifa	Valor
Contribuição iluminação pública	-	R\$ 6,63
Custo de disponibilidade	0,83056	R\$ 83,05
Adicional bandeira vermelha	0,02037	R\$ 2,03
<b>Total</b>		<b>R\$ 91,71</b>

Fonte: AUTORAS, 2021.

Cogitando também o custo de manutenção preventiva a ser feito 2 vezes ao ano, valor total de R\$ 800,00 considerando ser feita por uma empresa terceirizada, porém a limpeza pode ser feita pelo proprietário se assim optar com as ferramentas corretas e de modo correto sem problemas, tornando o custo de manutenção de painel fotovoltaico praticamente zero.

O tempo retorno do investimento pode ser verificado através do Quadro 12.

Quadro 12 – Tempo retorno do investimento

(Continua)

Ano	Energia Gerada (kW)	Energia Gerada (R\$)	Valor do investimento anual (R\$)	Quitação do investimento (R\$)	Lucro (R\$)
0	0	0	0	-R\$ 385.500,00	0
1	118.510,80	R\$ 98.363,97	R\$ 77.100,00	R\$ 21.263,97	0
2	118.510,80	R\$ 98.363,97	R\$ 77.100,00	R\$ 21.263,97	0
3	118.510,80	R\$ 98.363,97	R\$ 77.100,00	R\$ 21.263,97	0
4	118.510,80	R\$ 98.363,97	R\$ 77.100,00	R\$ 21.263,97	0

**Quadro 12 – Tempo retorno do investimento****(Continuação)**

5	118.510,80	R\$ 98.363,97	R\$ 77.100,00	R\$ 21.263,97	0
6	118.510,80	R\$ 98.363,97	0	R\$ 98.363,97	0
7	118.510,80	R\$ 98.363,97	0	R\$ 98.363,97	0
8	118.510,80	R\$ 98.363,97	0	R\$ 82.452,21	R\$ 15.911,76
9	118.510,80	R\$ 98.363,97	0	PAGO	R\$ 98.363,97
10	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
11	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
12	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
13	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
14	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
15	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
16	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
17	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
18	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
19	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
20	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
21	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
22	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
23	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
24	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
25	118.510,80	R\$ 98.363,97	0		R\$ 98.363,97
Total	2.962.777,00	R\$ 2.459.099,25	R\$ 385.500,00	R\$ 385.500,00	R\$ 1.688.099,28

Fonte: AUTORAS, 2021.

Analisando a projeção de viabilidade no prazo total de 25 anos, foi considerado o pagamento do investimento e o lucro após 25 anos de implementação, somando o valor total de R\$ 1.688.099,28 reais.

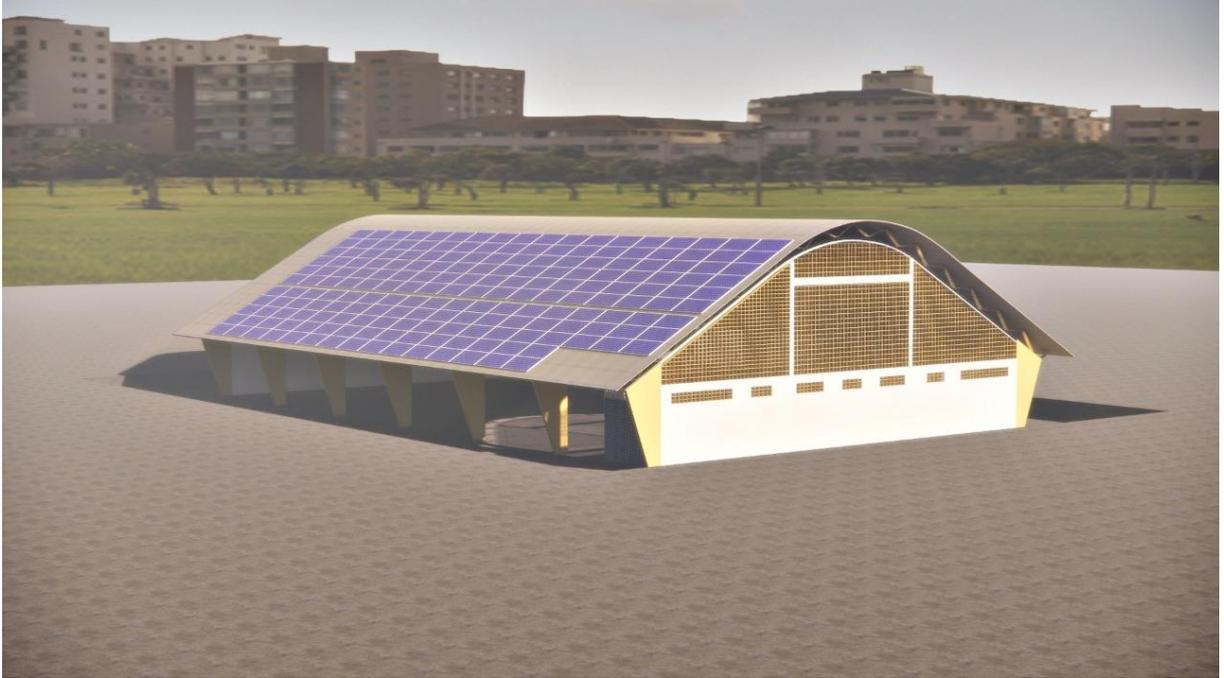
Um sistema fotovoltaico tem uma durabilidade garantida de 20 anos á 25 anos, sendo assim o investimento garante 15 anos de energia pagando somente a fatura no valor mínimo, considerando que após esse prazo o sistema continuará produzindo porem poderá haver uma perda gradativamente da produção isso poderá variar pela qualidade da placa e conservação, porem a vida útil da placa pode ser de até 40 anos.

Como o projeto foi projetado para acumular saldo extra além do valor de economia por ano vai gerar um acúmulo total de saldo que poderá ser enviado para qualquer cidade do estado de Goiás, desde que estejam na mesma titularidade.

Para finalizar, foi feita a maquete e a representação 3D da quadra ilustrando como a mesma ficará após a instalação dos painéis.

A Figura 25 ilustra a maquete da quadra.

**Figura 25 – Maquete da quadra da Escola Municipal Realino José de Oliveira**



Fonte: AUTORAS, 2021.

## 5 CONCLUSÃO

O Consumo de energia renovável, principalmente a energia fotovoltaica, devido o desenvolvimento de novas tecnologias, está crescendo exponencialmente em todo o mundo. O surgimento novos equipamentos e incentivos tem reduzido os custos do equipamento e proporcionado maior eficiência.

Este estudo teve como objetivos realizar um estudo da implementação de um sistema fotovoltaico em uma escola na cidade de Anápolis GO, através da apresentação dos conceitos e princípios de funcionamento do sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica, realização do levantamento de demanda de energia elétrica consumida em uma escola para posteriormente projetar e dimensionar um sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos, para uma quadra poliesportiva e avaliar a viabilidade de implantação do sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos, a fim de estimar o tipo de sistema fotovoltaico adequado.

Durante a implantação desse projeto foram analisadas e estabelecidas metas para a adaptação do sistema de captação de energia solar fotovoltaico afim de diminuir o valor de consumo de energia, e visivelmente a partir da análise dos dados técnicos (tempo de uso e potência) com o intuito de estabelecer o consumo total, mostrou-se eficiente. Com os dados apresentados constatamos que há economia significativa na implementação do projeto vigente.

Inicialmente foi estipulado que seria utilizada a demanda real de energia da escola para fins de cálculo no projeto, entretanto, devido a pandemia a Escola Municipal Realino José de Oliveira deixou de funcionar com 100% de sua capacidade a partir do primeiro trimestre de 2020, sendo assim, todo o cálculo foi realizado a partir de uma estimativa de consumo conforme demonstrado no capítulo anterior. Ainda assim não houve nenhum tipo de perda na eficiência do projeto devido à necessidade de partir de uma estimativa.

No que diz respeito a análise do local, a fim de verificar o melhor aproveitamento do potencial energético, a escola se encontra em local privilegiado, já que não possui interferências que possam diminuir o desempenho das placas fotovoltaicas. O tempo de insolação anual em Goiás fica entre 2.000 e 2.500 horas, o que é em média superior à média nacional, que já é uma das mais altas do mundo. O Brasil é considerado um dos países com maior incidência de energia solar, ainda à frente dos Estados Unidos e da China que são os dois países que mais produzem energia solar atualmente.

A escola contará com um quantitativo de 190 módulos solares, para suprir sua demanda de 9.568,08 KWh/mês juntamente com 01 inversor (*on-grid*), ou seja, ligado à rede

convencional de energia elétrica. Sendo assim, poderá contar com o sistema de compensação de créditos regulamentado pela ANEEL.

O projeto se mostrou viável para a instalação, ainda que o total do financiamento seja de R\$ 385.500,00, a escola terá uma economia mensal de R\$ 1.631,69 até os primeiros 05 anos de implantação e após esse período pagará cerca de R\$ 91,71 de energia por mês, completando 7 anos com taxa de retorno de 1.688.099,28 reais.

Lembrando que atualmente existem empresas especializadas em financiamento para esse tipo de instalação.

Com base nessas informações, conclui-se que o projeto para a implantação de um sistema de energia solar na Escola Municipal Realino José de Oliveira não só é viável como será possível acumular saldo extra além do valor de economia por ano que poderá ser enviado para qualquer cidade do estado de Goiás, desde que estejam na mesma titularidade.

É preciso dizer também que o estudo foi de grande valia para as autoras, uma vez que agregou valor ao conhecimento adquirido durante o curso de Engenharia Civil, sem falar que serviu de embasamento para a análise de projetos futuros sobre energia solar fotovoltaica.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se estudo sobre:

- Impostos sobre equipamentos de energia solar;
- Energia Solar Fotovoltaica para residências de baixa renda.

## REFERÊNCIAS

ABSOLAR. *Dados de energia solar fotovoltaica no Brasil em 2020*. Quantum. 2020. Disponível em: <https://www.quantumengenharia.net.br/dados-de-energia-solar-fotovoltaica-no-brasil-em-2020/>. Acesso em: 17 de novembro de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Relatório ANEEL 2012 / Agência Nacional de Energia Elétrica*. - Brasília. 2013. Disponível em: [https://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Relatorio\\_Aneel\\_2012.pdf](https://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Relatorio_Aneel_2012.pdf). Acesso: 20 de novembro 2020.

ALDO SOLAR. 2021. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/categoria/energia-solar/gerador-de-energia-solar-fotovoltaico>. Acesso em: 25/04/2021.

ALDO SOLAR. 2021. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/63282-9/inversor-solar-fotovoltaico-on-grid-growatt-mac60ktl3-x-lv-60kw-trifasico-380v-3mppt-12-entradas-monitoramento>. Acesso em: 25/04/2021.

ALDO SOLAR. 2021. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/76266-2/estrutura-solar-fotovoltaico-romagnole-411844-rs-225-4-paineis-fixador-z-telha-ondulada>. Acesso em: 25/04/2021.

BASTOS, Wisley da Silva. *Estudo de Caso de um Projeto Fotovoltaico Integrado à Edificação*. TCC. Universidade Federal da Paraíba: Paraíba, 2018. Disponível em: [http://www.cear.ufpb.br/arquivos/cgee/TCC/TCC\\_-\\_Wisley\\_da\\_Silva\\_Bastos\\_-\\_Vers%C3%A3o\\_Final.pdf](http://www.cear.ufpb.br/arquivos/cgee/TCC/TCC_-_Wisley_da_Silva_Bastos_-_Vers%C3%A3o_Final.pdf). Acesso em: 15 de novembro de 2020.

BRAGA, Renata Pereira. *Energia Solar Fotovoltaica: fundamentos e aplicações*. Projeto de Pesquisa. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2020.

BITTENCOURT, Felipe Tozzi. *Estudo comparativo do aproveitamento da energia solar fotovoltaica em relação à rede de distribuição na eletrificação rural do estado de Tocantins*. TCC. Universidade Federal de Lavras: Lavras, 2011. Disponível em: <https://www.solenerg.com.br/files/monografia-Felipe-Bittencourt-TCC.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2020.

CASARIN, Ricardo. *Mercado solar brasileiro já cresceu 1 GW em 2020, diz ABSOLAR*. Portal Solar. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/mercado-solar-brasileiro-ja-cresceu-1-gw-em-2020-diz-absolar.html#:~:text=A%20pot%C3%Aancia%20instalada%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o,marca%20de%205%2C5%20GW>. Acesso em: 17 de novembro de 2020.

CAMARGO, Lucas Tamanini. *Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica*. TCC. Universidade Estadual de Londrina: Londrina, 2017. Disponível em: [http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2017\\_LucasTamaniniCamargo.pdf](http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2017_LucasTamaniniCamargo.pdf). Acesso em: 15 de novembro de 2020.

CRESESB. *Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito*. 2021. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 14/04/2021.

CORREA, Yuri. *Como agem os Raios Solares: Conheça os Benefícios e Malefícios*. Web Ar Condicionado. 2020. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/raios-solares-saiba-como-eles-agem-e-conheca-seus-beneficios-e-maleficios>. Acesso em: 18 de outubro de 2020.

COLAFERRO, Luis. *Energia Solar no Brasil: Um panorama para [Você] entender tudo*. BlueSol. 2018. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>. Acesso em: 17 de novembro de 2020.

COOPER, Ellison; JUNIOR, Wellyngton Moralles Martins. *Aplicação de painéis solares fotovoltaicos*. TCC. Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2013. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/259.pdf>. Acesso em: 17 de novembro de 2020.

CRUZ, Cleyton Warlen Nieiro. *et al. Estudo de viabilidade técnica e financeira para geração de energia elétrica utilizando painel fotovoltaico no shopping oriundi – Aracruz*. Faculdades Integradas de Aracruz: Aracruz, 2017.

ESTEVES, Mayara Raysa Lima. *Estudo do potencial energético e aproveitamento das cascas de coco verde para a produção de briquete em Maceió – AL*. Dissertação de Mestrado. Universidade federal de Alagoas: Maceió, 2014.

ENEL. Geração Distribuída. Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/go/GeracaoDistribuicao.aspx>. Acesso em: 18/04/2021.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. *Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e viabilidade técnico-econômica*. São Paulo: GEPEA, 2016.

GOOGLE EARTH. 2021. Disponível em: [https://earth.google.com/web/@16.27744548,48.99061724,1291.31087264a,0d,35y,0.3047h,4.3243t,0.0016r?utm\\_source=earth7&utm\\_campaign=vine&hl=pt-BR](https://earth.google.com/web/@16.27744548,48.99061724,1291.31087264a,0d,35y,0.3047h,4.3243t,0.0016r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=pt-BR). Acesso em: 12/04/2021.

GLOBAL SOLAR ATLAS. 2021. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?c=-16.373509,-49.036789,10&s=-16.277274,-48.990266&m=site>. Acesso em: 14/04/2021.

JINKO SOLAR. 2021. Disponível em: [https://www.jinkosolar.com/uploads/CheetahPerc%20JKM390-410M-72H-\(V\)-A3-EN.pdf](https://www.jinkosolar.com/uploads/CheetahPerc%20JKM390-410M-72H-(V)-A3-EN.pdf). Acesso em: 25/04/2021.

JUNIOR, Anizio Cintia; SOUZA, Igor Menezes de. *Células fotovoltaicas: O futuro da energia alternativa*. TCC. Faculdade Evangélica de Goianésia: Goianésia, 2018. Disponível em: [http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/520/1/2018\\_1\\_IGOR\\_ANIZIO.pdf](http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/520/1/2018_1_IGOR_ANIZIO.pdf). Acesso em: 15 de novembro de 2020.

MATTETE, Henrique. BTU x WATT, potência de Ar Condicionado! 2021. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com/btu-x-watt-potencia-de-ar-condicionado/>. Acesso em: 25 de abril de 2021.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. *Estudo técnico energia solar no Brasil*. Estudo Técnico. Câmara dos Deputados: Brasília, 2017.

NTC-04. *Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição*. 2016. Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/go/documentos/NTC04.pdf>. Acesso em: 23 de abril de 2021.

PLANAS, Oriol. *O que é irradiação solar?*. Energia Solar. 2019. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/radiacao-solar/irradiacao-solar>. Acesso em: 18 de outubro de 2020.

PIRES, Daniel Hosken. *A viabilidade da implantação de painel fotovoltaico em repúblicas*. Monografia. Universidade Federal de Ouro Preto: Ouro Preto, 2015. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1175/1/MONOGRAFIA\\_ViabilidadeI mplanta%C3%A7%C3%A3oPainel.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1175/1/MONOGRAFIA_ViabilidadeI mplanta%C3%A7%C3%A3oPainel.pdf). Acesso em: 15 de novembro de 2020.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: Cepel / Cresesb, 2014. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 23 de novembro de 2020.

PRIME, Solar. *Os diferentes tipos de energia solar: tudo que você precisa saber*. Solar Prime. 2018. Disponível EM: <https://blog.solarprime.com.br/os-diferentes-tipos-de-energia-solar-tudo-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 19 de outubro de 2020.

PORTAL SOLAR. *Como Captar Energia Solar*. Portal Solar. 2016. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/como-captar-energia-solar.html#:~:text=A%20capta%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20solar,%C3%A9%20chamado%20de%20feito%20fotovoltaico>. Acesso em: 15 de novembro de 2020.

RODRIGUES, Renan Albuquerque. *Vidas despedaçadas impactos socioambientais da construção da usina Hidrelétrica de Balbina (AM), Amazônia Central*. Tese. Universidade Federal do Amazonas - UFAM: Manaus, 2013.

SAKÔ, Elson Yoiti. *Saiba os efeitos da sujeira nos módulos fotovoltaicos*. Canal Solar. 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/saiba-os-efeitos-da-sujeira-nos-modulos-fotovoltaicos/#:~:text=Em%20casos%20extremos%20a%20concentra%C3%A7%C3%A3o,ca usar%20inc%C3%AAndios%20em%20situa%C3%A7%C3%B5es%20extremas>. Acesso em: 05/04/2021.

SANTOS, Thuany. *Quais são os componentes de um sistema fotovoltaico?*. Oca Energia. 2020. Disponível em: <https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/quais-sao-os-componentes-sistema-fotovoltaico/#:~:text=Em%20suma%2C%20os%20principais%20componentes,controladores%20de%20carga%20e%20baterias..> Acesso em: 15 de novembro de 2020.

SOUZA, Ronilson di. *Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede ou Isolados? [Comparação]*. BlueSol Energia Solar. 2017. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/diferenca-sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-e-isolados/>. Acesso em: 19 de outubro de 2020

TRIGUEIRO, A. *Alemanha: menos sol que o Brasil; mais energia solar que a gente*. Cidades e soluções – Globo News. 2008. Disponível em: <http://g1.globo.com/globo-news/cidades-e-solucoes/platb/2008/10/15/alemanha-menos-sol-que-o-brasil-mais-energia-solar-que-a-gente/> Acesso: 20 setembro 2020

TOTAL, Energia. *Onde é usada a energia solar: conheça suas diversas aplicações*. *Energia Total: Energia Solar*. Disponível em: <https://www.energiatotal.com.br/onde-%C3%A9-usada-a-energia-solar-conhe%C3%A7a-suas-diversas-aplica%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 21 de outubro de 2020

UNIEVANGELICA. *Maior estacionamento solar do país será inaugurado nesta sexta-feira (4)*. Unievangelica. 2019. Disponível em: <https://pesquisa.unievangelica.edu.br/noticia/6520-maior-estacionamento-solar-do-pais-sera-inaugurado-nesta-sexta-feira-4>. Acesso em: 21 de outubro de 2020.

ZILLES, Roberto. *et al. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.