

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA ELÉTRICA
IURI GUSTVAO CAVALHEIRO DE SOUZA

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA - ANALISE DE
VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA: estudo de caso

Varginha
2021

IURI GUSTAVO CAVALHEIRO DE SOUZA

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA – ANÁLISE DE
VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA: estudo de caso**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Esp. Rafael Kerner Coelho dos Santos

**Varginha
2021**

IURI GUSTAVO CAVALHEIRO DE SOUZA

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA – ANÁLISE DE
VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA: estudo de caso**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Esp. Rafael Kerner Coelho dos Santos

Prof.

Prof.

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me ajudado nos momentos mais difíceis de minha vida, onde eu pensava que não conseguiria, quando estive sem forças e esperança, sem ele nada do que está aqui seria possível, estando presente me moldando e preparando a compreender a vida.

Agradeço a toda minha família, pelos momentos de compreensão em todos esses anos, principalmente aos meus Pais, que me entenderam e apoiaram a seguir meus objetivos. Agradeço a todas as pessoas que passaram por minha vida nesses últimos anos, em especial a

uma, que me ajudou, apoiou e incentivou de maneiras incríveis, e que hoje se faz muita falta, que um dia possamos celebrar nossas vitórias juntos e mostrar o quanto o tempo ensina e amadurece.

Aos professores, que passaram o possível de seus entendimentos e conhecimentos, principalmente aqueles que serviram de inspiração como ao Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni, Prof. Me Hugo Rodrigues Vieira, e ao meu Orientador Prof. Esp. Rafael Kerner Coelho dos Santos

Aos meus amigos e colegas de classe, onde levarei suas amizades para vida toda, juntos fomos capazes de vencer e chegar até o fim desses longos 5 anos.

Agradecer tudo aquilo que de alguma forma me fez crescer, nem todo o papel ou editor de texto do mundo e capaz de abrigar todas as palavras de gratidão por mim expressa, muito se foi e se passou ao longo desse ciclo, apenas grato, pois aqui não só marca o fim de uma etapa, mas sim o início de uma grande jornada ainda não escrita em nosso espaço tempo.

Se você quiser descobrir os segredos do universo, pense em termos de energia, frequência e vibração.

(Nikola Tesla)

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo apresentar uma proposta de projeção e análise de viabilidade econômica na implantação de uma usina fotovoltaica *On-grid* no telhado de uma concessionária no município de Três corações (MG), com a finalidade de obter um projeto viável capaz de contribuir na redução do custo da fatura de energia, estruturando a pesquisa em etapas para facilitar a compreensão, baseando seus apontamentos em revisão bibliográfica, utilização das normas, pesquisa em campo, dimensionamento do sistema com o auxílio do *software PVsyst®*, análise de dados da capacidade de geração, levantamento de custos e análise de viabilidade econômica, englobando três fatores, eficiência, qualidade e custo. Os resultados se demonstraram satisfatórios e promissores para anos futuros, tanto nos quesitos como geração e custo benefício.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico, Viabilidade econômica, Dimensionamento, *PVsyst®*.

ABSTRACT

This study aims to present a proposal for the projection and analysis of economic feasibility in the implementation of an On-grid photovoltaic plant on the roof of a concessionaire in the city of Três Corações (MG), in order to obtain a viable project capable of contributing in reducing the cost of the energy bill, structuring the research in stages to facilitate understanding, basing its notes on literature review, use of standards, field research, system sizing with the help of PVsyst® software, capacity data analysis generation, cost assessment and economic feasibility analysis, encompassing three factors, efficiency, quality and cost. The results proved to be satisfactory and promising for future years, both in terms of generation and cost-benefit.

Keywords: *Photovoltaic System, Economic viability, Sizing, PVsyst®.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESTRUTURA DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO.....	15
FIGURA 2-SISTEMA OFF-GRID	17
FIGURA 3 - SISTEMA <i>ON-GRID</i>	18
FIGURA 4 - DESENHO ESQUEMÁTICO DE UMA CÉLULA, MÓDULO E ARRANJO FOTOVOLTAICO.....	19
FIGURA 5 - CURVA V-I E P-V.....	20
FIGURA 6 - CURVAS I-V PARA VALORES DE IRRADIÂNCIA SOLAR.....	20
FIGURA 7 - CURVAS I-V PARA DISTINTAS TEMPERATURAS DA CÉLULA	21
FIGURA 8 - ESTRUTURA DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO.....	21
FIGURA 9 - DIODO DE BLOQUEIO	23
FIGURA 10 - DIODO DE DESVIO	24
FIGURA 11 - MEDIDOR BIDIRECIONAL.....	25
FIGURA 12 - INCLINAÇÃO IDEAL.....	30
FIGURA 13 - RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA, MÉDIA ANUAL (MJ/M ² DIA)	31
FIGURA 14 - IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO NA LATITUDE.....	31
FIGURA 15 - IRRADIÂNCIA DO SOL EM UM DIA.....	32
FIGURA 16 - IRRADIÂNCIA SOLAR NO PLANO HORIZONTAL	33
FIGURA 17 - IRRADIÂNCIA SOLAR NO PLANO INCLINADO, MAIOR MEDIA ANUAL.....	33
FIGURA 18 - POTÊNCIA DE MÁXIMA DE PICO	36
FIGURA 19 - DELINEAMENTO DO ESTUDO.....	43
FIGURA 20 - LOCALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO	44
FIGURA 21 - INCLINAÇÃO DO TELHADO DA INSTALAÇÃO	45
FIGURA 22 - ÂNGULO DE ORIENTAÇÃO DO TELHADO	46
FIGURA 23 - HISTÓRICO DE CONSUMO	46
FIGURA 24 - INSERÇÃO DAS COORDENADAS.....	47
FIGURA 25 - LOCALIDADE MAIS PRÓXIMA ACERCA DA COORDENADA.....	47
FIGURA 26 - MEDIA HSP.....	48
FIGURA 27 - ESTABILIDADE HSP	48
FIGURA 28 - DADOS METEOROLÓGICOS DO LOCAL	49
FIGURA 29 - ÂNGULO IDEAIS PARA OS PAINÉIS	50
FIGURA 30 - TAXA DE ENERGIA CEMIG.....	53
FIGURA 31 - DIMENSIONAMENTO COM SOFTWARE	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 ENERGIA SOLAR	13
2.1 Um conceito histórico.....	13
2.2 A célula e seu conceito histórico.....	14
2.3 Classificação dos sistemas.....	15
2.3.1 Tipos de sistemas	15
2.3.2 Sistemas fotovoltaicos isolados (<i>off grid</i>)	16
2.3.3 Sistemas fotovoltaicos conectados á rede (<i>on-grid</i>)	17
2.4 Componentes do sistema fotovoltaico.....	19
2.4.1 Painéis solares.....	19
2.4.2 Inversores.....	22
2.4.3 Diodo de bloqueio	22
2.4.4 Diodo de desvio.....	24
2.4.5 Medidor bidirecional.....	24
2.4.6 Seccionadores.....	25
2.4.7 Disjuntores	25
2.4.8 Fusíveis.....	27
2.4.9 Dispositivo de proteção contra surtos -DPS.....	27
2.4.10 <i>String Box</i>	28
2.4.11 Aterramento.....	28
2.5 Dimensionamento de um sistema <i>on-grid</i>	29
2.5.1 Cálculo de consumo médio de energia.....	29
2.5.2 Ângulo de inclinação e orientação ideal para o painel Fotovoltaico.....	29
2.5.3 Insolação no local	30
2.5.4 Potência da planta fotovoltaica	33
2.5.5 Dimensionamento dos painéis	34
2.5.6 Quantidade de painéis necessários.....	34
2.5.7 Parâmetros técnicos dos módulos fotovoltaicos.....	35
2.5.8 Definição do inversor	37
3 INDICADORES DE VIABILIDADE	38
3.1 VPL.....	38

3.2 TIR.....	38
3.3 <i>Payback</i>.....	39
3.4 Fluxo de caixa	39
4 REGULAMENTAÇÃO E NORMATIZAÇÃO	41
5 ESTUDO DE CASO.....	43
5.1 Cenário a ser estudado.....	43
5.2 Objetivo técnico.....	44
5.3 Execução dos estudos técnicos.....	44
5.4 Objetivos Financeiros	51
5.5 Execução dos estudos financeiros	51
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
6.1 Resultados técnicos.....	55
6.2 Considerações acerca dos resultados Técnicos	56
6.3 Resultados financeiros	57
6.4 Considerações acerca dos resultados Financeiros.....	57
7 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICE.....	63

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população e a utilização constante de combustíveis que cada vez ficam mais escassos no planeta, trazem consequências extremas ao meio ambiente e aumentos de custos expressivos. A compreensão da população em relação a fontes alternativas de energia, geraram um progresso na busca por fontes como os sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaicos, instalados na maioria das vezes para suprir a necessidade de consumo próprio e obter um custo benéfico em relação ao valor investido tornando mais viável e “barato” o consumo de energia elétrica. Após o lançamento da resolução RN 482 em 2012 isso foi possível, assim trazendo vários benefícios, em consequência rendendo uma nova resolução em 2015, a RN 687, que potencializava ainda mais os benefícios da anterior.

Entretanto, necessário se faz adotar boas práticas no projeto, a aquisição de bons materiais e uma instalação correta sempre obedecendo as normas vigentes tais como exemplo a NBR5410, NBR16690 e NBR16274 podem auxiliar e enquadrá-lo na forma correta, outros fatores que influenciam são as verificações dos componentes utilizados nesse tipo de sistema a fim de se obter o resultado desejado com um retorno aceitável do investimento, a verificação da insolação no local em diferentes épocas do ano, cálculos de ângulos ideais para instalação dos painéis, são peças chaves para um bom desempenho e geração da usina, a disponibilidade de *softwares* e outros meios de estudo do local permitem que se consiga uma geração ideal nivelada, sem muitas oscilações decorrentes das estações do ano, onde se há diferença na exposição da luz solar. Observando esse cenário o estudo tem como objetivo apresentar o dimensionamento de uma usina fotovoltaica para uma concessionária na cidade de Três Corações (MG), estabelecendo os melhores parâmetros técnicos de instalação e qualidade dos equipamentos empregados, para que os mesmos atinjam a demanda necessária, assim verificar a viabilidade econômica do capital investido ao decorrer de um prazo estabelecido.

2 ENERGIA SOLAR

O sol na forma de radiação emana energia capaz de alimentar quase toda a vida na terra através da fotossíntese e da temperatura mantida no planeta, sua composição principal é feita através do hidrogênio (74%) e hélio (25%), também possuindo outros elementos como o ferro, níquel, oxigênio, silício, etc. toda a energia produzida por ele é proveniente do processo de fusão nuclear decorrente das grandes temperaturas de seu núcleo e de sua enorme pressão. Estima-se que a temperatura superficial seja de aproximadamente 5500°C, dando-lhe uma cor branca, mas por causa da dispersão atmosférica ele nos parece amarelo. (HELERBROCK-2021). Com todo esse potencial a tecnologia de energia fotovoltaica é uma fonte de potência elétrica, que possibilita a utilização de células semicondutoras capazes de transformar a radiação solar/ luz diretamente em energia elétrica, este fenômeno é denominado efeito fotovoltaico.

O efeito fotoelétrico consiste na ejeção de elétrons de um material exposto a uma determinada frequência de radiação eletromagnética. Os pacotes de luz, chamados de fótons, transferem energia para os elétrons., se essa quantidade de energia for maior do que a energia mínima necessária para se arrancar os elétrons, estes serão arrancados da superfície do material, formando uma corrente de fotoelétrons (HELERBROCK-2021).

2.1 Um conceito histórico

Descoberto pelo físico alemão Heinrich Hertz em 1886, e considerado um fenômeno de origem quântica, o efeito fotoelétrico corresponde no envio de elétrons por algum material que esteja sendo iluminado por radiações eletromagnéticas de específicas frequências, os elétrons emitidos por tais matérias são chamados de fotoelétrons. Hertz em seus estudos na produção de descargas elétricas, percebeu que entre duas superfícies de metal em potenciais diferentes, observou que uma faísca proveniente de uma superfície gerava uma faísca secundária na outra, como esta era difícil de ser visualizada, Hertz construiu uma proteção sobre o sistema para evitar a dispersão da luz. No entanto, isto causou uma diminuição da faísca secundária. Na sequência dos seus experimentos ele constatou que o fenômeno não era de natureza eletrostática, pois não havia diferença se a proteção era feita de material condutor ou isolante. Após uma série de experimentos, Hertz, confirmou o seu palpite de que a luz poderia gerar faíscas. Também chegou à conclusão que o fenômeno deveria ser devido apenas à luz ultravioleta. A explicação teórica viera a ser até então pelo alemão Albert Einstein em 1905. (HELERBROCK-2021)

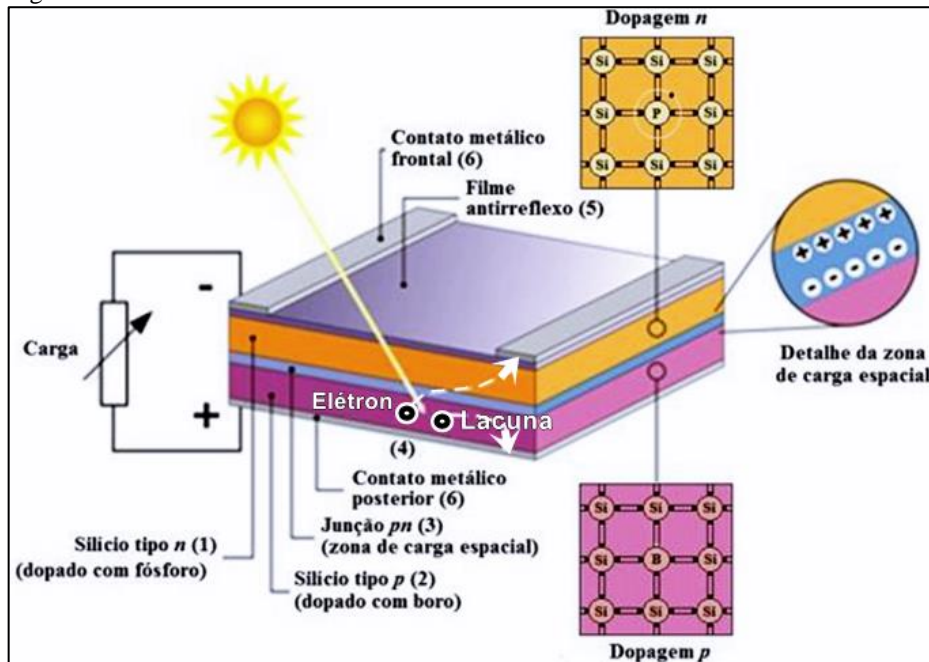
A dúvida que pairava na época estava relacionada com a energia cinética dos elétrons que eram ejetados do metal, essa grandeza não dependia somente da intensidade da luz incidente. Einstein percebeu que o agente responsável pela ejeção de cada elétron era um único fóton, uma partícula de luz que transferia aos elétrons uma parte de sua energia, ejetando-o da matéria, desde que sua frequência fosse grande o suficiente para tal. Para tanto, Einstein se baseou nas ideias do físico alemão Max Planck. (HELERBROCK-2021)

Planck por sua vez afirmava que a luz irradiada por um corpo negro era quantizada, isto é, apresentava um valor mínimo de energia, como em pequenos pacotes. Einstein ampliou a ideia para todas as ondas eletromagnéticas e conseguiu resolver o problema do efeito fotoelétrico. Einstein e Planck receberam mais tarde o prêmio Nobel de Física por suas descobertas relacionadas à quantização da luz. (HELERBROCK-2021).

2.2 A célula e seu conceito histórico

A energia elétrica gerada a partir de um sistema fotovoltaico precisa de uma célula solar para ser produzida, a conversão da Irradiação para corrente elétrica dá-se em materiais denominados como semicondutores. O semicondutor mais utilizado é o silício, que se caracteriza por possuir quatro elétrons e quatro lacunas. Ao se bombardear o silício com átomos pentavalentes, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que, com pouca energia, poderá caminhar para banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante do tipo N. Se, por outro lado, introduzem-se átomos trivalentes, como o boro, haverá um excesso de lacunas no silício. Diz se portanto, que o boro é um dopante tipo P. A partir de uma junção PN no silício, os elétrons livres do lado N passam para o lado P e se juntam com as lacunas desse lado P. Isso faz com que o lado P se torne negativamente carregado por ter um acúmulo de elétrons e o lado N se torne eletricamente positivo pela redução de elétrons, essas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de elétrons para o lado P. Quando a luz solar toca em uma junção PN, ela libera fótons que transferem energia para junção PN, fazendo com que as cargas sejam aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção. Esse deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de Efeito Fotovoltaico (CRESESB, 2006), a Figura 01, apresenta a estrutura física de uma junção *pn* de uma célula fotovoltaica.

Figura 1 – Estrutura de uma célula fotovoltaica de silício



Fonte: Adaptado (PINHO e GALDINO, 2014)

Existem diversas tecnologias para fabricação de módulos e células fotovoltaicos. As mais comuns encontradas são a de silício monocristalino, silício policristalino e a do filme fino de silício. A performance real dos módulos fotovoltaicos pode ser influenciada pelas condições ambientais, isto é, as mesmas podem promover efeitos que se levam em perda significativas de eficiência, alguns dos principais fatores críticos que influenciam diretamente no desempenho dos módulos destacam-se, a temperatura de operação, irradiação, espectro solar, acúmulo de sujeira e sombreamento. Essas causas são capazes de reduzir a eficiência de conversão em até 15% e podem levar a degradação das células e módulos (SIMIONE, 2017).

2.3 Classificação dos sistemas

A indústria fotovoltaica já avançada em produção a nível mundial no final do século XX, apresentava melhorias significativas no desenvolvimento de painéis, trazendo custos mais razoáveis e acessíveis. Court (2012) relata que nos Estados Unidos da América, os custos de instalação apresentavam-se na faixa de US\$7 - US\$9 e eficiência dos painéis neste ano entre 14 e 18%, cenário que muda nos tempos atuais, contando com painéis cada vez mais eficientes

2.3.1 Tipos de sistemas

De uma maneira abrangente o sistema de energia solar ou, ainda, sistema fotovoltaico, e um conjunto que através da radiação solar e capaz de gerar energia elétrica. Basicamente existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos segundo Pinho e Galdino (2014, p.255) podem ser classificados em duas categorias principais, Sistemas Isolados (*Off-grid*) e Sistemas Conectados à Rede (*On-Grid*), os mesmos apresentam algumas diferenças em relação a sua proposta.

2.3.2 Sistemas fotovoltaicos isolados (*off grid*)

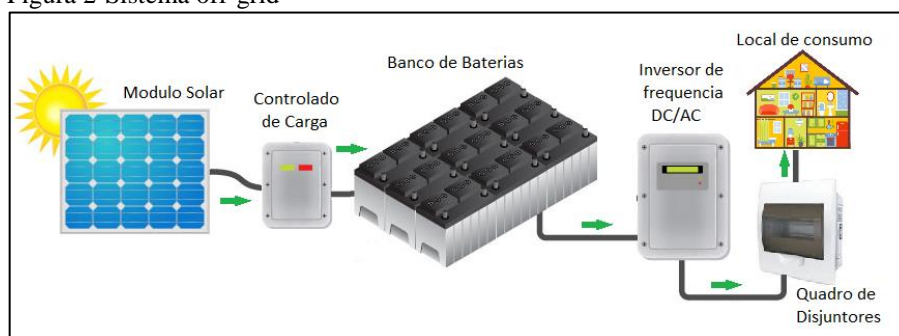
Os Sistemas *off grid*, são sistemas autônomos (Isolados) ou seja independentes da rede de distribuição, utilizados em ambientes afastados ou onde o custo de se conectar a rede elétrica é alto. Em sua maioria são utilizados em casas de campo, refúgios, bombeamento de água, iluminação, telecomunicações, etc. o mesmo tem por sua característica o uso das baterias, que são seus dispositivos de armazenamento.

Utilizado em locais e propósitos específicos, a energia excedente produzida é armazenada no banco de baterias e utilizada pelo sistema em momentos oportunos, ou seja, quando há pouca ou nenhuma incidência de sol, como os períodos noturnos. Dessa forma, como as baterias são a fonte de energia reserva do sistema segundo (ENERGIA BRASIL,2019), nesse caso convém adquirir baterias com espaço de armazenamento de energia suficiente para manter o local implantado com energia, tendo como base a demanda local e as condições climáticas na região, em épocas com pouca incidência de luz, a bateria deverá possuir a capacidade de armazenar grandes quantidades de energia nos momentos de insolação, para que a mesma possa ser utilizada nos períodos sem luz ou onde se tenha a escassez da luz do sol como a noite ou em dias chuvosos e nublado. De uma maneira básica, podem ser compostos por:

- a) Bloco gerador: painéis solares; cabos; estrutura de suporte.
- b) Bloco de condicionamento de potência: inversores; controladores de carga.
- c) Bloco de armazenamento: baterias.

A Figura 02, apresenta um exemplo simples de um sistema off-grid e alguns de seus componentes

Figura 2-Sistema off-grid



Fonte: (SENERGAM, 2021)

2.3.3 Sistemas fotovoltaicos conectados á rede (*on-grid*)

Também chamados de *grid-tie*, o sistema *on-grid* se caracteriza pela necessidade de se estar conectado à rede de distribuição de energia, esse tipo de sistema dispensa a utilização das baterias e dos controladores de carga, o tornando mais barato financeiramente, neste caso os inversores além de realizarem a sua tradicional função de converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), também irão realizar a função de sincronizar o sistema com a rede pública/concessionária.

Como esse sistema não possui um dispositivo de armazenamento, toda energia excedente gerada, ou seja, aquela que não é utilizada pela residência ou local onde se destina a utilização da mesma, e enviada a rede convencional de energia elétrica dependendo da regulamentação local. (ZILLES, 2012).

O Sistema *On-grid* possui entre seus componentes o relógio medidor bidirecional, que conforme explicado anteriormente, em relação a energia excedente, ela é injetada na rede de forma que o relógio gire no sentido contrário, esse excedente é convertido em créditos de energia pela concessionária de energia, e podem ser utilizados em momentos onde a demanda é maior que a produção ou ser utilizados por outras unidades consumidoras, desde que possuam o mesmo titular e façam parte da mesma rede distribuidora. No entanto, mesmo a estrutura necessitar fazer uso da rede convencional de energia, a mesma apresentara uma economia na conta de energia, onde somente será cobrado a diferença entre o que é consumido e o que é produzido.

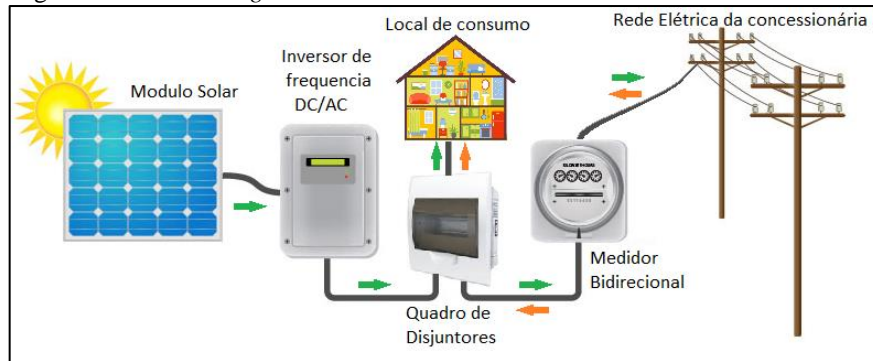
Esse tipo de sistema é regulamentado pela resolução normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), de 17 de abril de 2012, que é o que define o mecanismo de compensação de energia. De uma maneira básica, o sistema pode ser composto por:

- a) Bloco gerador: painéis solares; cabos; estrutura de suporte.

b) Bloco de condicionamento de potência: inversores, medidor bidirecional.

A Figura 03, pode exemplificar de maneira simplificada alguns componentes que compõem a instalação *on-grid*

Figura 3 - Sistema *on-grid*



Fonte: (SENERGAM,2021)

A Tabela 01, apresenta alguns pontos positivos e negativos em relação a cada tipo de instalação.

Tabela 1- Vantagens e desvantagem *off-grid* e *on-grid*

Sistema	Vantagem	Desvantagem
<i>OFF-Grid</i>	Pode ser utilizado em regiões remotas, pois não apresenta dependência da rede elétrica	Necessita de utilização de baterias e controladores de carga
	Não há conta de luz	Menor eficiência
	Possui sistema de armazenamento de energia	Apresenta maior custo
<i>ON-Grid</i>	Não há necessidade da utilização de baterias e controladores de carga	Há necessidade da rede de distribuição
	Possui créditos de carga	Não há sistema de armazenamento
	Créditos podem ser utilizados em outras unidades consumidoras do mesmo proprietário	Necessidade de pagar conta de luz quando a demanda for maior que a produção e não houverem crédito disponíveis
	Mais eficiente	

Fonte: Adaptado (PORTAL ENERGIA BRASIL,2019)

O conceito de geração fotovoltaico pode ser uma das alternativas para soluções do panorama energético mundial e nacional. Dentre as vantagens, se destaca a economia obtida, pois ele pode atingir toda a demanda necessária para suprir residências, comércios e até

industrias, assim desonerando muitas das vezes o consumidor de tarifas impostas pelas concessionarias vigentes.

Dentre as desvantagens, a maior delas está no capital inicial investido para projeção, que de acordo com o porte de geração pretendida, pode chegar a valores que realizado as devidas análises, podem apresentar um *Payback* inviável. A burocracia para adequar o sistema as normas das concessionárias também é um fator a ser levado em consideração (FONTES,2017)

2.4 Componentes do sistema fotovoltaico

Para a produção de energia fotovoltaica o sistema deve se compor por alguns componentes básicos, alguns deles podem ser apresentados abaixo:

2.4.1 Painéis solares

Conforme dito anteriormente a célula solar é o bloco básico de construção do sistema de energia fotovoltaica e tem apenas alguns centímetros quadrados e é capaz de prover poucos watts de potência. O módulo ou painel solar é definido como um grupo de várias células conectadas eletricamente em combinações série-paralelo para se conseguir correntes e tensões necessárias, conforme Figura 04, o conjunto de várias células formam um módulo e seguindo esse raciocínio a junção de vários módulos formam um arranjo.

Figura 4 - Desenho esquemático de uma célula, módulo e arranjo fotovoltaico



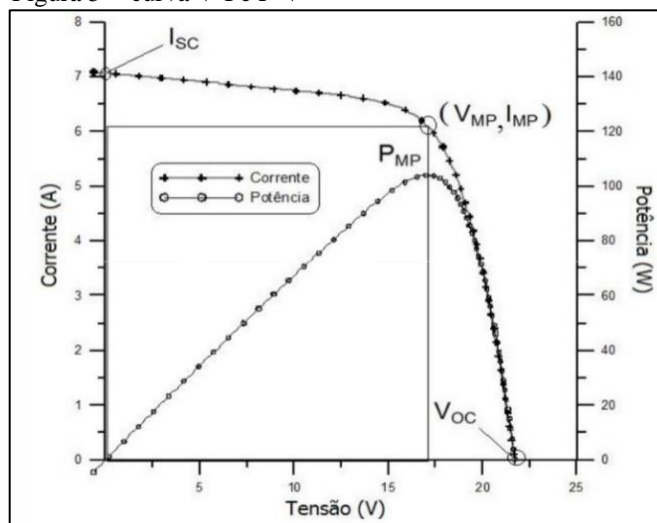
Fonte: (EERE,2008)

Os módulos funcionam como captadores de energia, pois são responsáveis por coletarem a luz solar e a transformar em energia, ou seja, os fótons são coletados da luz solar e

são convertidos em corrente elétrica. Os módulos normalmente são apresentados pela sua potência elétrica de pico (Wp), a definição de pico de um módulo é realizada nas condições-padrão de ensaio o STC (*Standard test Conditions*), que considera a irradiância solar de 1000W/m² sob uma distribuição espectral padrão para AM1.5 e uma temperatura de 25°C (CRESESB 2014). Dada que a multiplicação dos pares I-V leva à potência de saída que atinge o seu valor máximo no chamado "*Maximum Power Point*" ou Ponto de Máxima Potência (MPP ou PMP). As Figuras 05,06 e 07, adotam um painel solar genérico como exemplo para:

- a) Potência de pico para um modulo com potência nominal de 100WP

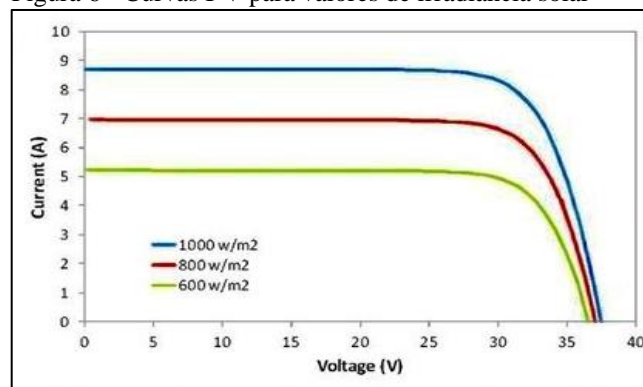
Figura 5 - curva V-I e P-V



Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014)

- b) Influencia por radiação Temperatura 25°

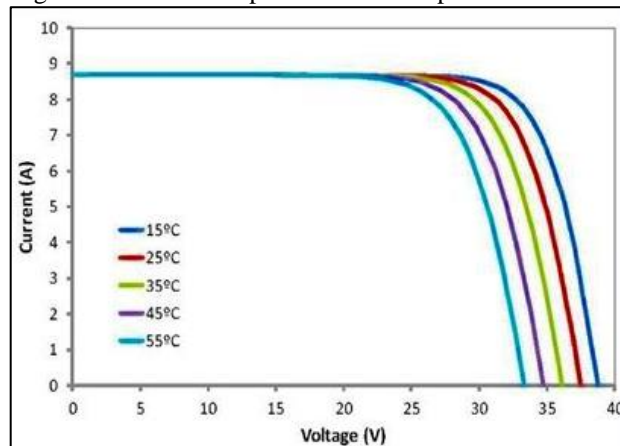
Figura 6 - Curvas I-V para valores de irradiância solar



Fonte: (BERTO,2017)

- c) Influencia por temperatura Irradiância 1000W/m²

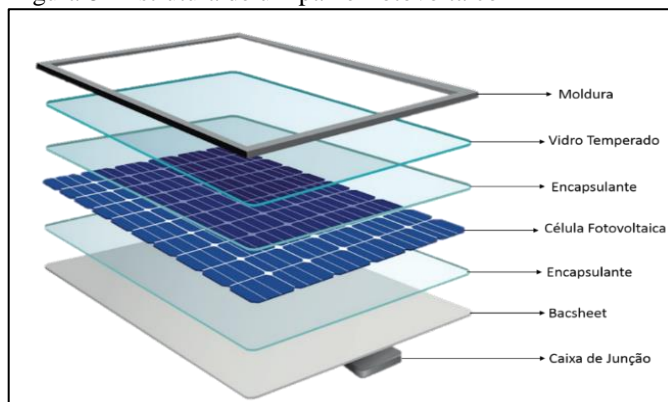
Figura 7 - Curvas I-V para distintas temperaturas da célula



Fonte: (BERTO, 2017)

Na Figura 08, pode ser observado como e formado a estrutura de um painel solar:

Figura 8 - Estrutura de um painel fotovoltaico



Fonte: (FATOR ENERGETICO, 2016)

Na parte posterior dos módulos normalmente há uma caixa de conexões, conforme Figura 08, essa caixa abriga os diodo de desvio (by-pass) e as conexões dos conjuntos de célula em série (PINHO e GALDINO, 2014), a Figura 10, apresentada posteriormente mostra um exemplo do interior de uma caixa de conexões. Segundo Medeiros (2021) alguns exemplos de painéis podem ser dados por:

- Painel solar fotovoltaico de silício monocristalino;
- Painel solar fotovoltaico de silício policristalino;
- Painéis solares de filme fino;
- Painel solar de silício amorfo (a-Si);
- Painel solar de telureto de cádmio (CdTe);
- Painéis solares de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS /CIGS);
- Células fotovoltaicas orgânicas (OPV);

- h) Paineis solar híbrido - HJT.

2.4.2 Inversores

Quando se trata de uma instalação de painéis solares, o tipo de corrente gerada se dá na forma de contínua, e o tipo de corrente utilizado nas casas e até distribuída pela maioria das concessionárias trata se dá alternada. Um importante componente do sistema fotovoltaico é o inversor de frequência, pois ele faz a conversão da energia elétrica gerada pelos painéis para corrente alternada, energia pronta para ser utilizada no local designado ou a ser entregue na rede de distribuição local, no caso do sistema *on grid*, além da conversão de corrente contínua para alternada, o mesmo também tem a função de igualar a tensão e amplitude, fazendo com que a fase e frequência sejam propícias a serem injetadas na rede elétrica da concessionária sem provocar danos.

Os inversores que são utilizados na conexão da rede são conhecidos também como inversores *grid-tie* e a sua grande maioria possuem um sistema de controladores de potência chamado de *Maximum power point tracking*, ou em uma tradução livre seguidor de ponto de potência Máxima, com isso é possibilitado que os módulos operem com sua potência máxima. Os mesmos também apresentam uma função bem importante o anti-ilhamento, isto é, quando há o desligamento da rede pela distribuidora de energia o inversor se desconecta da rede, assim evitando que o sistema fotovoltaico envie corrente a ela, condição essa muito importante por comprometer a segurança da manutenção da mesma. (ALVES, 2016). Os inversores *grid-tie* podem ser subdivididos em quatro tipos:

- a) Inversor *string*
- b) Inversor *multi-string*
- c) Micro inversores.
- d) Inversor solar central

2.4.3 Diodo de bloqueio

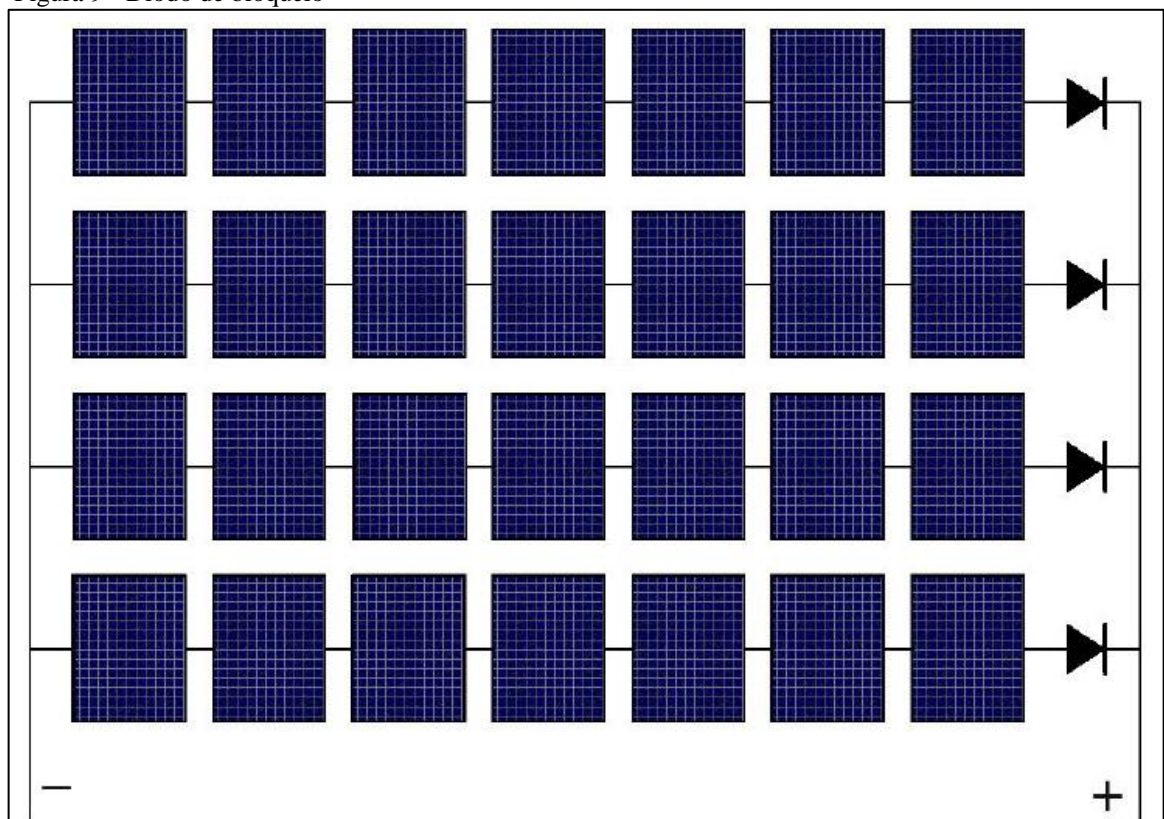
Uma corrente reversa é causada pela diferença de tensão nos ramos quando ocorre alguma situação que implica no sombreamento ou defeito de alguma célula. O ramo que dispõe da menor tensão fica exposto como carga para os demais ramos, desta maneira toda ou alguma parte da corrente gerada pelos demais que apresentam maior tensão, fluirá pelo de menor tensão ocasionando aquecimento e perda de potência do sistema, apontando essa situação os sistemas

fotovoltaicos constituídos por vários ramos em paralelo , cada um podendo ser constituído por X módulos em série , podem ser protegidos contra a corrente reversa dos demais modulo com o diodo de bloqueio conectados em serie em cada ramo.

O uso dos mesmos ligado em serie com os módulos de cada ramo evitam o aparecimento das correntes reversas , mas ocasionam uma queda de tensão , que podem variar de 0,5 a 1 volt dependendo do tipo de diodo , uma alternativa em diminuir ou reduzir essa queda e substituir o diodo de bloqueio por fusíveis , com os fusíveis as células do módulo do ramo de menor tensão não correm o risco de serem danificada, porém, não se evita a perda de potência do sistema visto que por este ramo circulará uma corrente reversa. (ALVES, 2016)

A Figura 09, apresenta um exemplo de um diagrama com um arranjo com 7 módulos formando um conjunto serie e 4 destes conjuntos conectados em paralelo, assim para cada conjunto série, instala-se um diodo de bloqueio, cada diodo deve suportar pelo menos duas vezes a tensão de circuito aberto de todo o arranjo. (PINHO e GALDINO, 2014),

Figura 9 - Diodo de bloqueio

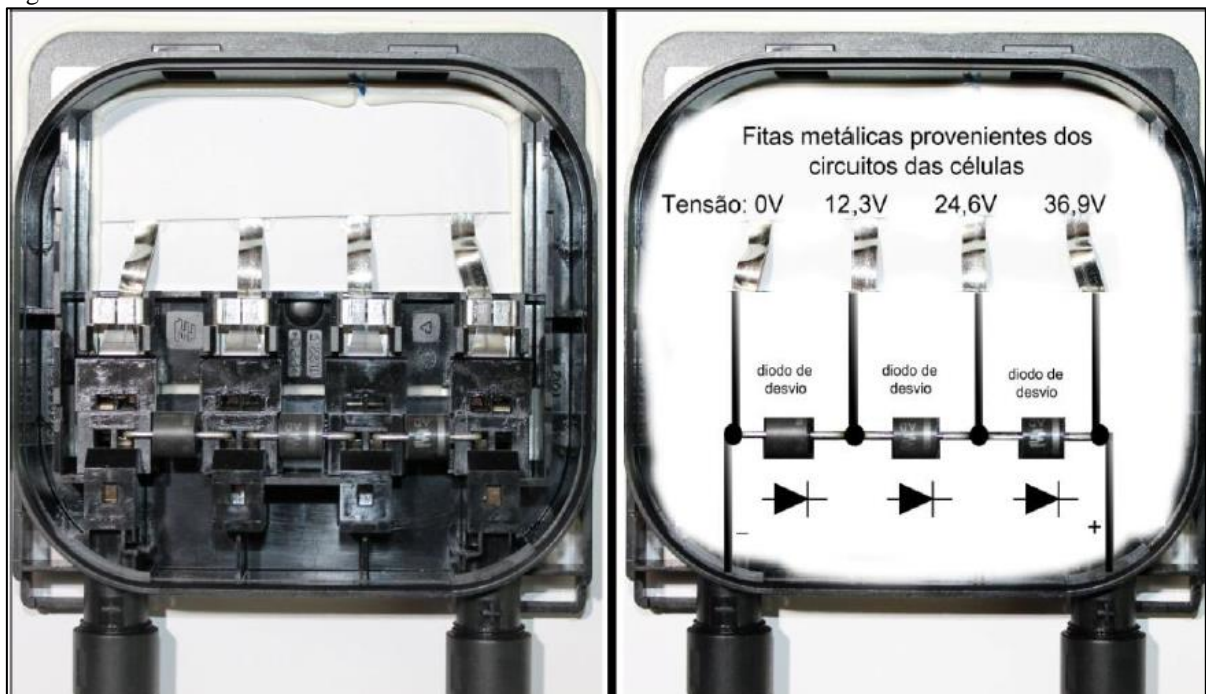


Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014)

2.4.4 Diodo de desvio

Quando ocorre algum sombreamento ou por algum motivo o painel estiver encoberto, o módulo fotovoltaico ligado em série, pode ocorrer algum aparecimento de pontos quentes no sistema conhecidos como *hot spots*, para evitar essas eventuais avarias que possam a vim ocorrer, são utilizados os diodos de desvio ou *bypass*, o mesmo serve como caminho alternativo para a corrente e limita a dissipação de calor na célula com avaria, normalmente são ligados em paralelo com cada módulo que integra uma determinada fileira ,com a finalidade de desviar a corrente gerada pelos outros módulos , dessa maneira fazendo com que somente o módulo “defeituoso “ seja colocado de fora de geração. Os módulos fotovoltaicos já incluem na sua maioria, um ou mais diodos de desvio, evitando que o projetista tenha que considerá-los em seu sistema, para a identifica-los em um modulo, basta abrir a caixa de conexão do modulo e constatar visualmente sua presença (PINHO e GALDINO, 2014), conforme pode ilustrar a Figura 10, como exemplo mostra o interior de uma caixa de conexões de um modulo de 240Wp, com 60 células em série, sendo 20 para cada diodo.

Figura 10 - Diodo de desvio



Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014),

2.4.5 Medidor bidirecional

Sistemas conectados à rede, tem entre suas funções injetar seu excedente a rede. Ao contrário dos medidores convencionais o medidor bidirecional tem como objetivo registrar a energia recebida da concessionária (chamada de direta) e a energia que é injetada na rede elétrica (chamada de reversa), dessa forma garantindo a compensação dos créditos posteriormente quando não haver geração de energia a noite ou em dias de falta da luz solar. (SOLIS ENERGIA-2019), Exemplo de um medidor bidirecional na Figura 11.

Figura 11 - Medidor bidirecional



Fonte: (GREENVOLT, 2019)

2.4.6 Seccionadores

A chave seccionadora é um dispositivo responsável pela conexão e desconexão do circuito geral CC do sistema fotovoltaico durante algum tipo de manutenção, sua utilização é prevista na norma NBR -5410 em instalações de mini ou micro geração, uma de suas funções é o seccionamento seguro para o usuário e sistema, evitando o risco de choque elétrico e o risco de incêndio causado pela faísca ou arcos voltaicos gerados no instante da desconexão por apresentarem correntes elevadas.

Para o dimensionamento correto, devem apresentar as características técnicas de:

- a) Tensão de isolamento e operação: onde evidencia a máxima tensão que a chave suporta.
- b) Corrente de operação: máxima corrente suportada
- c) Especificação de uso: definição para CA ou CC
- d) Números de polos: Capacidade de condutores a seccionar suportada
- e) Capacidade de suporte ao impulso: Conforme as especificações da tabela 50 da NBR-5410 a chave deve suportar o impulso elétrico na posição em aberto

2.4.7 Disjuntores

O disjuntor é um sistema de segurança para um circuito elétrico, ele o protege contra sobrecargas e curtos circuitos, seu funcionamento se dá pelo corte da passagem de corrente elétrica, caso a mesma venha a ultrapassar o seu limite especificado, também servem como dispositivo de manobra, para seu correto dimensionamento deve se verificar características como a tensão, corrente, frequência e a sua capacidade de interrupção compatíveis com a instalação, um dos mais utilizados é o termomagnético, o qual possui elemento eletromagnético para proteção contra curtos-circuitos e um elemento térmico para proteção contra sobrecorrentes. A classificação se dá de forma a corrente nominal para qual foram projetados e com o comportamento em condições de sobrecargas. São divididos perante as curvas de disparos nas classes B, C e D, essas curvas têm relação com a sensibilidade e tempo de ação do disjuntor em situações de sobrecargas e curtos-circuitos (ALVES, 2016). Para um dimensionamento correto, vale destacar, que deve se observar a qual tipo de circuito o disjuntor deve realizar sua proteção, pois vale destacar que disjuntores para corrente alternada são diferentes dos que são utilizados em corrente contínua.

Segundo Mattede (2016), existem vários tipos de disjuntores cada um variando a sua configuração e aplicação, pode se destacar os seguintes:

- a) Disjuntores Monopolar: Utilizado em sistemas monofásicos Fase / neutro, seja 127v ou 220v
- b) Disjuntor bipolar: utilizado em sistemas que contenham duas fases
- c) Disjuntores Tripolar: Indicado para sistemas que utilizam três fases
- d) Disjuntor magnético: com uma precisão maior também são utilizados para proteção de equipamentos contra sobrecargas e curtos-circuitos,
- e) Disjuntor térmico: são capazes de interromper o circuito quando detectam temperatura elevada, e comumente utilizados como precaução contra incêndios.
- f) Disjuntores termomagnéticos: proteção contra aquecimentos, curtos e sobrecargas, junção da proteção térmica e magnética, muito utilizado em instalações residenciais e comerciais, uma vantagem é que ele pode ser utilizado para manobras de ligar e desligar o circuito.

Além de possuírem vários tipos e modelos, conforme mencionado a cima, eles se dividem em 3 categorias devido a sua curva característica, elas definem a aplicação e quais as cargas que serão ligados, são divididas em B, C e D, (não existindo curva característica com a letra A, pois a corrente em Amperes já é dada com essa letra, assim para não haver confusão)

- a) Curva B: A curva de interrupção B do disjuntor estipula que a corrente de interrupção do circuito é de 3 a 5 vezes sua corrente nominal. O disjuntor de 10A nesta curva deve operar quando sua corrente de pico atinge entre 30A e 50A. (MATTEDE, 2016)
- b) Curva C: A curva de ruptura C do disjuntor estipula que sua corrente de ruptura é de 5 a 10 vezes a corrente nominal. O disjuntor de 10A nesta curva deve operar quando sua corrente atingir entre 50A e 100A. (MATTEDE, 2016)
- c) Curva D: Quanto à curva de interrupção D do disjuntor, estipula-se que a corrente necessária para abrir o circuito seja entre 10 e 20 vezes a corrente nominal. O disjuntor de 10A nesta curva deve operar quando sua corrente atingir entre 100A e 200A. (MATTEDE, 2016).

2.4.8 Fusíveis

No mercado existem vários tipos e modelos de fusíveis, no entanto cada um com a sua devida aplicação, para aplicação no fotovoltaico os mesmos devem ser do tipo G , que atende a norma IEC 60269-6, não podendo ser utilizado outro tipo de fusível para esse fim, o objetivo é de proteger a serie fotovoltaica da corrente reversa que provem de um conjunto serie com maior para um de menor tensão assim também contra o curto circuito. Portanto ele deve ser dimensionado para correntes menores que a corrente reversa suportada pelos módulos, sendo que geralmente, o seu valor nominal vem indicado no catálogo do módulo fotovoltaico. Os diodos de bloqueios ao longo dos anos apresentam várias falhas, prejudicando o desempenho do sistema. Portanto, é muito indicado utilizar os fusíveis no lugar dos diodos (VILLALVA, 2015).

2.4.9 Dispositivo de proteção contra surtos -DPS

Os DPS são dispositivos que conseguem detectar sobreensões transitórias na rede elétrica e desvia-las para que não atinjam eletrônicos ou outras cargas conectadas no circuito, o desvio é feito de forma de descarga para o sistema de aterramento. O processo é rápido ocorre em apenas uma fração de segundo, desta maneira o disjuntor nem detecta a fuga da corrente. Com esse intuito o mesmo consegue evitar acidentes de maior intensidade que venha acontecer com os equipamentos do sistema fotovoltaico.

Os surtos de tensão podem ocorrer por adversos motivos, dentre eles pode ser as descargas atmosféricas, descargas diretas ou indiretas e/ou manobras na rede. As descargas

elétricas ou fenômenos que causam a sobretensão em um circuito apresentam curvas de tensão e corrente com certas diferenças.

O DPS para sistema fotovoltaico apresenta a mesma função, seu objetivo é de evitar que as descargas atmosféricas tanto como direta ou indireta, causem danos nos componentes que formam o sistema, para uma total proteção deve haver a instalação de um DPS entre o arranjo fotovoltaico e o inversor, e pelo menos um DPS entre o inversor e a rede elétrica.

Conforme mencionado anteriormente a energia gerada entre os módulos fotovoltaicos e o inversor é corrente contínua, o DPS a ser instalado nesse local deverá ser o próprio para a corrente contínua, no entanto a mescla de circuitos de corrente contínua e alternada deve ser realizada com um quadro para cada tipo de corrente, pois a norma não permite esse tipo de instalação no mesmo quadro. Os DPS utilizados nos circuitos de corrente alternada (CA) não podem ser utilizados nos circuitos de corrente contínua (CC) ou vice-versa, deve se fazer a utilização correta para cada lado do circuito. (VINTURINI, 2019)

2.4.10 *String Box*

A *String box* trata-se de um componente responsável por conectar os cabos vindos dos módulos fotovoltaicos ao inversor, ela realiza também a proteção da parte CC do sistema, oferece proteção contra sobretensão e sobrecorrente permitindo seccionar o circuito, sendo composta basicamente por dispositivo seccionador (sendo disjuntor ou chave seccionadora), dispositivo de proteção contra sobretensão (DPS), dispositivo de proteção contra sobrecorrente, invólucro e cabos CC. (VINTURINI, 2019)

2.4.11 Aterramento

O aterramento e a ligação do circuito ou sistemas com a terra através de um componente condutor, ou seja, colocar o sistema e equipamentos no mesmo potencial, de modo que a diferença de potencial entre a terra e o sistema seja o menor possível. Alguns dos objetivos do aterramento está compreendido em:

- a) Proteção da integridade dos profissionais da área, usuários e animais;
- b) Permitir um funcionamento adequado dos dispositivos, evitando danos aos equipamentos devido a falha no isolamento ou arcos elétricos provocados por falhas
- c) Realizar a descarga de energia elétrica indesejada das carcaças de equipamentos.

Nos sistemas fotovoltaicos o aterramento e equipotencialização são geralmente os mesmos que para outros sistemas de energia elétrica, e de suma importância sua instalação por

apresentar proteções para os equipamentos, instalações e as pessoas, assim estando em conformidade com a norma. Além do mais, recomenda-se o aterramento das estruturas de alumínio de fixação dos módulos fotovoltaicos ao circuito de proteção (VILLALVA, 2015).

2.5 Dimensionamento de um sistema *on-grid*

Como para todo sistema que utilize diversificados componentes, deve se realizar um levantamento para o que e qual a capacidade que esse sistema vá atender, com o sistema fotovoltaico não e diferente, no entanto deve destacar certos pontos para estabelecer a capacidade de geração e o tamanho do sistema, assim para que o mesmo atenda a demanda necessária para onde foi instalado e projetado. Nos próximos tópicos será dado sequencia no que diz respeito ao dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado a rede (*On-Grid*).

2.5.1 Cálculo de consumo médio de energia

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 329), para o dimensionamento do gerador fotovoltaico, é necessário se ter acesso ao consumo médio diário anual da edificação (Wh/dia), essa informação pode ser obtida através da fatura de energia do local, no campo histórico, através dessas informações será traçado o consumo médio, pois o consumo e a geração de energia variam durante os meses do ano.

2.5.2 Ângulo de inclinação e orientação ideal para o painel Fotovoltaico

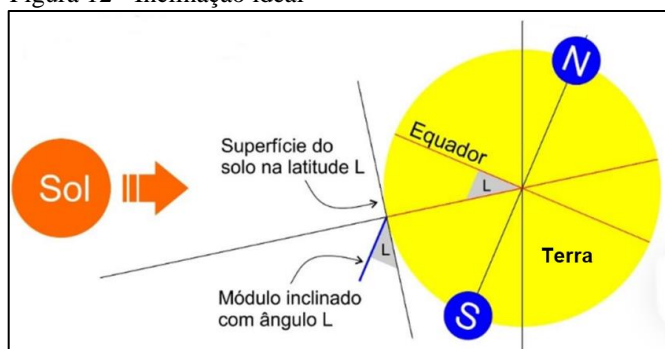
A inclinação e orientação dos módulos, são questões de suma importância, pois essas duas condições dimensionadas de forma inadequada podem levar a um sistema com grandes perdas de eficiência prejudicando durante toda a sua geração, neste caso há vários fatores a se levar em consideração, pois a posição e trajetória do sol mudam durante as horas, dias, meses do ano conforme variam as estações, o clima e relevo local também devem ser considerados.

Para uma orientação correta deve se desenvolver um sistema de maneira que o painel em seu maior tempo possível seja voltado sua face para a radiação solar, captando o máximo de energia proveniente do sol.

Uma regra interessante a ser seguida é inclinar os módulos utilizando o mesmo ângulo da latitude local, assim para garantir um melhor desempenho do sistema, com uma energia a ser produzida constante durante o ano, não privilegiando alguma época do ano em particular

(VILLALVA-2020). Na Figura 12, pode se observar que a inclinação 'L' faz com que a face do painel fique voltada diretamente para o sol, possibilitando uma maior recepção de luz solar.

Figura 12 - Inclinação ideal



Fonte: (VILLALVA,2020)

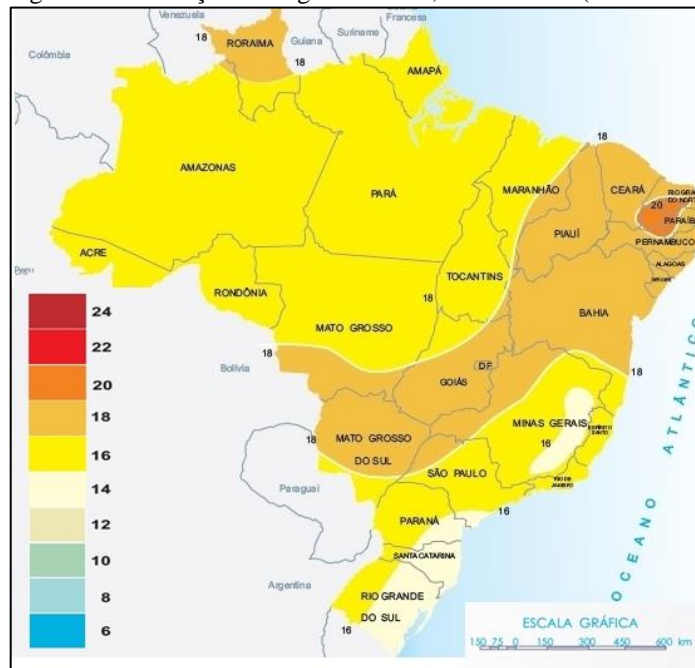
2.5.3 Insolação no local

Para se obter um projeto com aproveitamento solar satisfatório, a necessidade de realizar um estudo sobre a radiação solar no local é imprescindível. As bases para esses estudos são realizadas por medições de radiação terrestre provenientes de satélites meteorológicos, simultaneamente acompanhado de métodos de cálculos matemáticos e medição da radiação solar ao nível do solo, as medições ao nível do solo são realizadas por equipamentos específicos e normatizados pela Organização mundial de meteorologia, como por exemplo os pireliômetros, piranômetros, acinógrafos e heliógrafos.

Para o Brasil pode se destacar os 2 estudos em relação a radiação Solar são: “Atlas Solarimétrico do Brasil” elaborado pelo CRESESB (Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito) e o “Atlas Brasileiro de Energia Solar” – produzido pela Universidade Federal de Santa Catarina em união com o Projeto SWERA. Ambos são complementares e demonstram as variações na radiação captada no Brasil por um período de um ano. (SOUZA,2016)

A Figura 13 do Atlas Solarimétrico Brasileiro, evidencia valores de radiação no plano Horizontal (H) em Mega Joules por metro quadrado (MJ/m²) em uma visão anual.

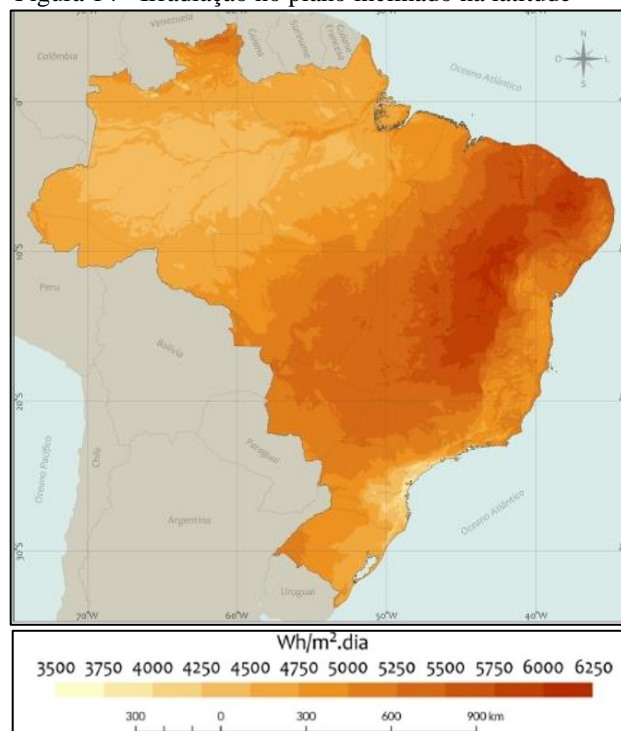
Figura 13 - Radiação solar global diária, média anual (MJ/m² dia)



Fonte: (ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL, 2000)

Já a Figura 14 evidencia os resultados em Watts hora por metro quadrado (Wh/ m²), sua nomenclatura e HSP que significa Horas de sol pico ou horas de sol pleno, ou seja, e o número de horas que a irradiância solar se mantém frequente igualando a 1w/ m², de maneira que a energia subsequente seja equivalente a disponibilizada pelo sol no local pelo período de um dia.

Figura 14 - Irradiação no plano inclinado na latitude

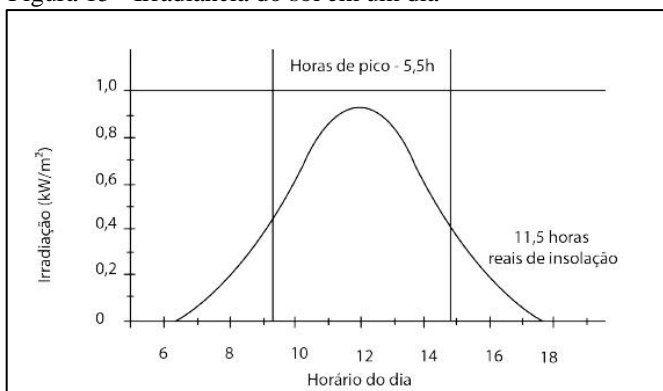


Fonte: (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR 2^oed ,2017)

A radiação solar tem a sua oscilação durante o dia, no instante que o sol surge no horizonte a radiação está no seu mínimo, a mesma atinge sua maior intensidade no meio dia solar, e depois volta ao mínimo quando o sol chega ao ocaso.

Conforme a Figura 15, se aplicarmos a variação de irradiância de um dia nas condições favoráveis em um gráfico, isso possibilitará observar as horas do dia que a irradiância é aproximada a 1000 W/m².

Figura 15 - Irradiância do sol em um dia



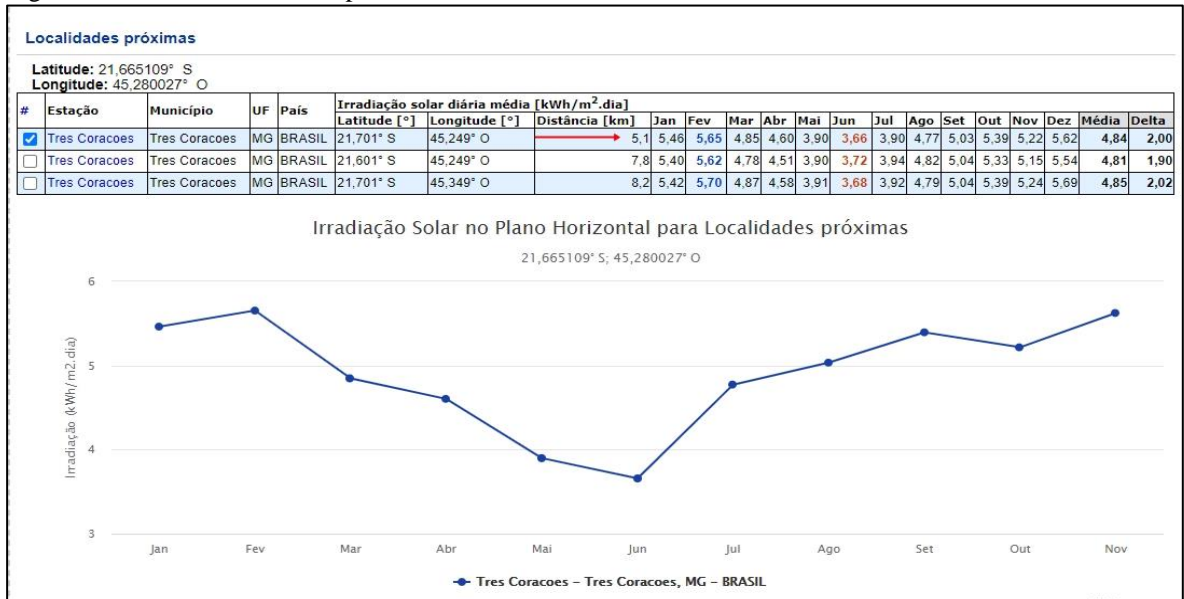
Fonte: (SOUZA, 2016)

O horário de sol pico compreende entre 2 a 3 horas antes e posteriormente do meio dia solar, esses dados são fundamentais para o dimensionamento do sistema, pois é nesse momento que os painéis estarão no seu máximo em geração, o meio dia solar ocorre no momento em que os raios solares são projetados na direção Norte-Sul, no meridiano local, no entanto o meio dia solar varia durante o ano, então na maior parte ele deve-se diferenciar do meio dia civil.

Uma ferramenta muito importante para o acesso ao banco de dados de radiação solar no território brasileiro, pode ser consultado no site do CRESESB (Centro de referência para energias solar e eólica Sérgio de S. Brito), por lá é possível ter acesso ao *SunData* que através das coordenadas locais é disponibilizado o cálculo de irradiação solar diária mensal em qualquer ponto do território nacional (CRESESB),

Como exemplo, dadas as coordenadas -21.66510929343714, -45.280027182537516, retiradas da plataforma Google® Maps®, que são coordenadas destinadas a pesquisa futura, obtive 3 resultados, que para a melhor precisão será considerado a de menor distância conforme a Figura 16.

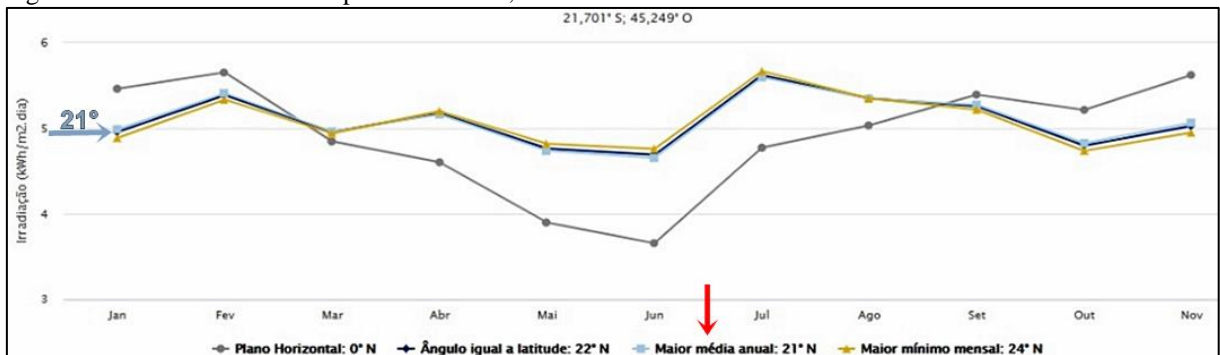
Figura 16 - Irradiância solar no plano horizontal



Fonte: (CRESESB,2021)

Na Figura 16 pode se observar a quantidade de irradiação nos painéis quando eles estão no plano horizontal, isto é, de forma que os raios solares atingem a superfície do planeta sem nenhum ângulo de interversão nos painéis para correção. Na Figura 17, obtém um ângulo de 21°, para realizar um nivelamento entre os meses do ano, assim sendo o mais ideal., conforme gráfico abaixo.

Figura 17 - Irradiância solar no plano inclinado, maior média anual



Fonte: (CRESESB,2021)

2.5.4 Potência da planta fotovoltaica

De uma maneira abrangente a potência do sistema fotovoltaico pode ser dimensionada utilizando a Equação 01:

$$P_{FV(Wp)} = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (01)$$

Onde:

$P_{FV(Wp)}$: Potência de pico do painel.

E (Wh/dia): Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste

$HSP_{MA}(h)$: Média diária anual HSP incidente no plano do painel

TD (adimensional): Taxa de desempenho

Perdas do sistema como temperatura, sombras, cabeamentos e outras, são simbolizados pelo fator de desempenho ou performance (F), que em condições de radiação solar encontradas no Brasil podem ser adotados entre 0,7 e 0,8. (SOUZA,2016) o desempenho também pode ser influenciado pela temperatura ambiente e pela tecnologia empregada dos equipamentos, Fatores decisivos que afetam diretamente o dimensionamento e a área disponível para a instalação e recursos financeiros a disposição.

2.5.5 Dimensionamento dos painéis

Para a escolha dos painéis em questão, será necessário verificar se da potência da planta que será feito em um estudo posterior, mas seguindo o intuito de verificar a viabilidade do sistema implantado nesta primeira etapa, será aplicado painéis que forneçam o maior custo benefício para o sistema, no entanto a apresentação da formula para o dimensionamento da quantidade do mesmo a seguir e imprescindível.

2.5.6 Quantidade de painéis necessários

A quantidade de painéis necessários para uma usina fotovoltaica e dada pela Equação 02:

$$Np = \frac{Pfv}{Pp} \quad (02)$$

Onde:

N_p : Quantidade de painéis

P_{fv} : Potência da planta

P_p : Potencia de pico do painel selecionado

A quantidade pode ser moderadamente alterada devido a questão de adequações a quantidade de *strings* que poderão ser conectados aos inversores.

Já a quantia de módulos por *String* e resultado direto da faixa de tensão de trabalho do inversor e oscilação da tensão de circuito aberto do modulo em relação a mínima e máxima temperatura, assim conforme a Equação 03.

$$\frac{V_{MPPTmín}}{V_{MPPT0}} < N^{\circ}mod/string < \frac{V_{MPPTmáx}}{V_{MPPT70}} \quad (03)$$

Onde:

$V_{MPPTmín}$: tensão mínima de trabalho do inversor

V_{MPPT0} : a máxima tensão do painel á mínima temperatura

$V_{MPPTmáx}$: tensão máxima de trabalho do inversor

V_{MPPT70} : a mínima tensão do painel á máxima temperatura

2.5.7 Parâmetros técnicos dos módulos fotovoltaicos

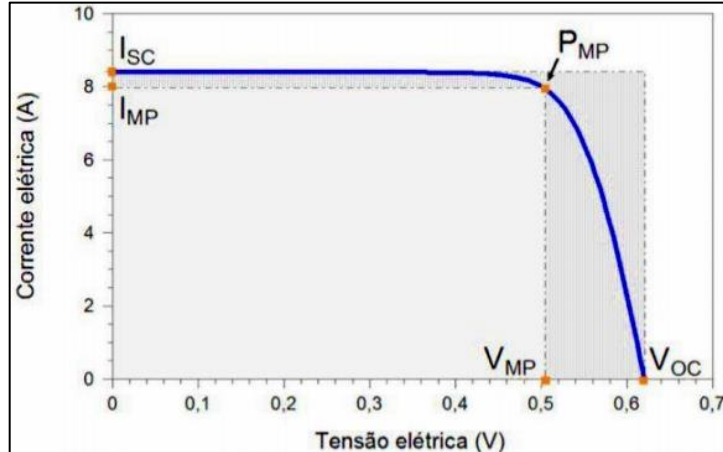
Segundo Alessandra Berto (2017), a reação e condições de irradiação solar e temperaturas, são fatores que muitas das vezes não são levadas em consideração no dimensionamento de uma usina fotovoltaica, ocasionando muitas falhas, no entanto outras informações que são de suma importância podem ser verificadas no *datasheet* de um modulo como:

- a) I_{sc} (*short-circuit current*) ou I_{cc} (corrente de curto-circuito) dado em Amperes, é o valor máximo de corrente que o módulo de célula solar pode fornecer à carga quando corresponde a tensão zero sob certas condições de radiação e temperatura , portanto, potência zero.

- b) V_{oc} (*Open circuit voltage*) ou (Tensão de circuito aberto) dado em Volts, é quando sob certas condições de radiação e temperatura, a tensão máxima que o módulo solar pode fornecer à carga, que corresponde a ciclo de corrente zero, portanto, potência zero.
- c) P_{max} ou P_{mpp} (*nominal max power*, potência nominal ou potência de pico) dado Watts: é o valor máximo de potência que pode ser entregue à carga, correspondendo ao ponto da curva onde o produto tensão x corrente ($V \times I$) é maior, ou seja, a potência máxima gerada pelo painel solar fotovoltaico
- d) I_{max} ou I_{mp} , Corrente de máxima potência: É o valor da corrente que é entregue a uma carga à máxima potência, sob determinadas condições de radiação e temperatura, é a corrente nominal da placa solar.
- e) V_{max} ou V_{mpp} , Tensão de máxima potência: É o valor da tensão que é entregue à carga máxima de potência, sob determinadas condições de radiação e temperatura, é a tensão nominal do módulo solar.

A Figura 18, esboça um gráfico de máxima potência de pico onde pode se verificar cada parâmetro mencionado anteriormente.

Figura 18 - Potência de máxima de pico



Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014)

Fator de forma (FF) é a razão entre a máxima potência da célula (P_{max}) e o produto da corrente de curto circuito com a tensão de circuito aberto ($I_{sc} \times V_{oc}$), Equação 04.

$$FF = \frac{V_{MP} I_{MP}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (04)$$

Eficiência (η): é o parâmetro que define quão efetivo é o processo de conversão de energia solar em energia elétrica, representa a relação entre a potência elétrica produzida pela célula fotovoltaica e a potência da energia solar incidente e pode ser definida pela Equação 05

$$\eta = \frac{IscVocFF}{AG} \times 100\% \quad (05)$$

Onde,

A (m²) = é a área da célula

G (W/m²) = é a irradiância solar incidente.

Alessandra Berto (2017) ainda ressalta que dificilmente as placas solares vão proporcionar a potência de pico, pois a radiação solar é muito variável e a eficiência da célula diminui quando o fator temperatura aumenta. A corrente gerada diminui à medida que o nível de radiação cai, a temperatura é um fator importante, uma vez exposto ao sol, o calor do módulo aumentará, além disso, parte da energia solar incidente não é convertida em energia elétrica, mas dissipada na forma de calor. Portanto, a temperatura da célula solar é sempre superior à temperatura ambiente, em caso de um local muito quente, o painel solar sofre diminuição de sua potência.

2.5.8 Definição do inversor

Para a definição do inversor deve se verificar a tensão de entrada de circuito aberto da *string*, ou seja, a mesma não pode ultrapassar a máxima tensão de entrada do inversor, pois uma sobretensão pode acarretar em danos até mesmo irreversíveis aos equipamentos. A potência do inversor segundo a norma NBR 16149, pode estar compreendida entre 80% a 120% da potência nominal do conjunto de painéis, pois na maioria do tempo o conjunto concede potência abaixo da sua capacidade nominal sendo que a potência de pico, só é atingida nas condições padronizadas de teste (STC) e caso o inversor atinja essa potência o mesmo não será danificado apenas não aproveitará a máxima potência do conjunto fotovoltaico.

3 INDICADORES DE VIABILIDADE

Para cálculos de viabilidade necessário se faz apresentar alguns métodos econômicos, para este capítulo serão apresentados o Valor Presente Líquido (VPL) a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*, com isso também apresentando o fluxo de caixa.

3.1 VPL

O valor presente líquido (VPL) consiste em trazer para data zero todos os fluxos de caixa de um investimento e somar ao valor inicial (investido) utilizando a TMA (Taxa mínima de atratividade) do projeto em questão. Com isso ele é capaz de levar em consideração a valorização dos valores ao longo do tempo, assim calculando o real ganho do investimento, e pode ser calculado conforme a Equação (06).

$$V_{pl} = -Fc_0 + \sum_{n=1}^n \frac{F_{cn}}{(1+i)^n} \quad (06)$$

Onde:

V_{pl} : valor presente líquido

Fc_0 : investimento inicial do projeto

F_{cn} : fluxo de caixa referente a cada período no horizonte de planejamento

n : número de períodos no horizonte de planejamento

i : taxa mínima de atratividade (TMA)

De uma maneira abrangente possibilita trazer ao valor presente ou a data zero, um valor futuro que represente a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de um projeto de investimento em valores monetários atuais. (RENATA, 2017),

3.2 TIR

A taxa interna de retorno (TIR), avalia qual investimento possui o melhor retorno que segundo Macedo (2014, p.68) pode ser calculada pela Equação (07)

$$-Fc_0 + \sum = 1 \frac{F_{cn}}{(1+i)^n} \quad (07)$$

Onde:

Fc_0 : investimento inicial do projeto

F_{cn} : fluxo de caixa referente a cada período no horizonte de planejamento

n: número de períodos no horizonte de planejamento

i: taxa mínima de atratividade (TMA)

Segundo Gitman (2007), a taxa interna de retorno (TIR) é uma medida relativa, expressa em percentual, que representa o quanto rende um projeto de investimento, considerando a mesma periodicidade dos fluxos de caixa do projeto.

Assim, TIR e a taxa que faz com que o VPL seja igual a zero, demonstrando o ponto de reversão da decisão de investir, a comparação da TIR com a TMA se faz necessário, ou seja uma TMA maior que TIR, resulta em economicamente inviável, TMA igual resulta em indiferença, TMA menor economicamente viável

3.3 Payback

O *Payback* que em português significa “retorno”, segundo Gitman (2007) é o tempo necessário para que o investimento se pague e passe a apresentar ganhos efetivos levando em consideração o capital investido. Ou seja, e o tempo de retorno do investimento inicial até o momento no qual o ganho acumulado se iguala ao valor do investimento, normalmente medido em períodos de meses ou anos.

3.4 Fluxo de caixa

Fluxo de Caixa é um Instrumento de gestão financeira que projeta para períodos futuros todas as entradas e as saídas de recursos financeiros da empresa, indicando como será o saldo de caixa para o período projetado. De fácil elaboração para as empresas que possuem os

controles financeiros bem organizados, ele deve ser utilizado para controle e, principalmente, como instrumento na tomada de decisões.

O Fluxo de Caixa deve ser considerado como uma estrutura flexível, no qual o empresário deve inserir informações de entradas e saídas conforme as necessidades da empresa. Com as informações do Fluxo de Caixa, o empresário pode elaborar a estrutura gerencial de resultados, a análise de sensibilidade, calcular a rentabilidade, a lucratividade, o ponto de equilíbrio e o prazo de retorno do investimento. O objetivo é verificar a saúde financeira do negócio a partir de análises e obter uma resposta clara sobre as possibilidades de sucesso do investimento e do estágio atual da empresa. (CARLOS.J, 2017)

4 REGULAMENTAÇÃO E NORMATIZAÇÃO

A lei 2427/96 foi criada em 1996, ela instituiu uma agência regulamentadora nacional de energia, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) que estabelece as normas aplicadas em qualquer fonte de energia elétrica no Brasil.

E de responsabilidade da ANEEL de regulamentar e fiscalizar qualquer transmissão, distribuição, produção e comercialização de eletricidade no país, em virtude disso foi criado o Decreto 2335/97, que declara sobre a organização interna, competências, atribuições, estatuto, autonomia e dentre outros elementos da agência.

Em 2012 lançada pela ANEEL, a resolução normativa RN 482 que se tornou uma das mais importantes no setor de energia solar no país, possibilitou que o cidadão tenha a liberação para gerar a própria energia, ela obriga as concessionárias de geração de energia a criar maneiras para que o usuário gere energia em sua residência ou empresa possibilitando a ele que tenha bonificações, ou seja, uma troca da energia excedente gerada pelo equipamento do consumidor em troca de benefícios em sua conta de luz.

De uma maneira abrangente os créditos energéticos são quando a fonte geradora gera mais do que vai utilizar e a mesma não possui métodos de armazenamentos locais, assim podendo injetar o seu excedente na rede da concessionária, gerando os créditos energéticos, assim podendo ser utilizados quando a usina não conseguir suprir a demanda necessária para abastecer o local em que ela está instalada. Em 2015 a ANEEL criou a resolução 687 que permite usufruir dos créditos em até 5 anos após o término do contrato com a concessionária, antes na resolução 482 era no máximo de 3 anos.

As resoluções 482, e a 687 que se trata de uma atualização da primeira, trazem formas de geração de energia solar permitidas no país, pode se destacar algumas delas:

- a) Sistema de compensação de energia elétrica
- b) Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras
- c) Autoconsumo remoto
- d) Geração compartilhada
- e) Microgeração distribuída
- f) Sistema de compensação
- g) Minigeração distribuída

As instalações de sistemas fotovoltaicos conectados à rede devem obedecer tanto às resoluções da ANEEL quanto da concessionária local, com isso visam garantir a produção de energia com boa qualidade e obedecendo critérios que diminuirão os riscos para esse tipo de implantação (Hioki & Amarante, 2017), por isso vale ressaltar algumas delas conforme a Tabela 02, onde demonstram algumas das normas, procedimentos e resoluções utilizadas para energia fotovoltaica.

Tabela 02 – Normas e seus âmbitos

Âmbito Federal	
REN 482 ano 2012	Micro e Minigeração Distribuída
REN 687 ano 2015	Atualização da RN 482
PRODIST	Acesso aos Sistemas de Distribuição
ABNT NBR	Energia solar fotovoltaica — Terminologia
ABNT NBR 16149 ano 2013	Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição
ABNT NBR 16150 ano 2013	Sistemas fotovoltaicos (FV) — Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformidade
ABNT NBR 16274 ano 2014	Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho
ABNT NBR IEC 62116 ano 2012	Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica
Âmbito Estadual (Concessionária vigente)	
ND 5.30	Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig D – Conexão em Baixa Tensão
ND 5.31	Requisitos Para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig D – Média Tensão
ND 5.33	Requisitos Para a Conexão de Consumidores ao Sistema de Distribuição Cemig – Conexão em Alta-tensão
Auxiliares	
REN 414:2010	Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica
PRODIST – MÓDULO 8	Qualidade no Produto e no Serviço
ABNT NBR 5410	Instalações elétricas de baixa tensão
ABNT NBR 5419	Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas
ABNT NBR 5418	Instalações elétricas em atmosferas explosivas
ABNT NBR 14039	Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV
ABNT NBR 13570	Instalações elétricas em locais de afluência de público – Requisitos específicos
ABNT NBR 13534	Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde – Requisitos para segurança
ABNT NBR 14639	Posto de serviço – Instalações elétricas
NR-10	Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
NR-35	Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos

Fonte: Autor

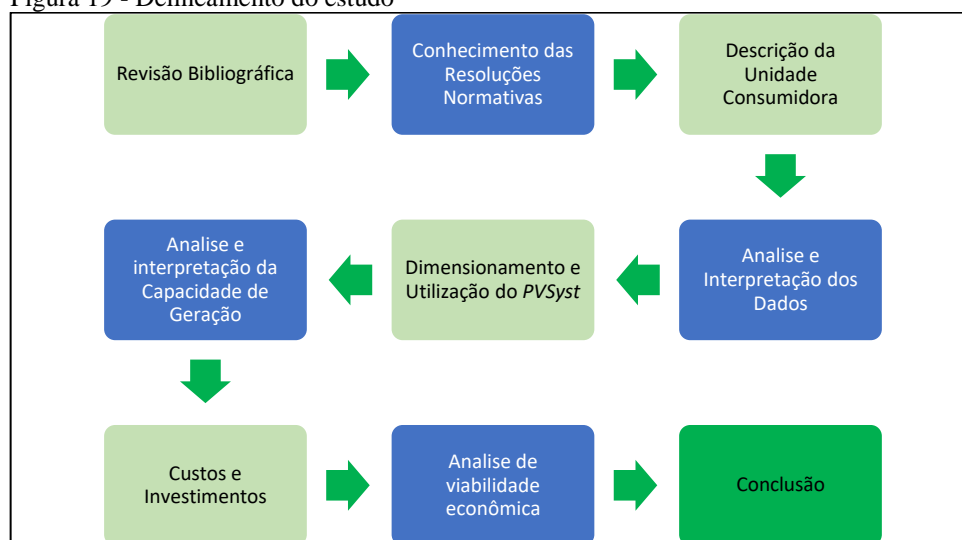
5 ESTUDO DE CASO

Este capítulo tem como objetivo apresentar o estudo de caso realizado, serão demonstrados os componentes escolhidos, potência de geração, o investimento financeiro e sua viabilidade econômica.

5.1 Cenário a ser estudado

A Figura 19, representa as etapas que foram utilizadas para este estudo.

Figura 19 - Delineamento do estudo



Fonte: Autor

Para obtenção do objetivo, foi realizada a pesquisa bibliográfica com o intuito de inteirar sobre a tecnologia empregada no estudo e compreender sobre seu funcionamento. Com o conhecimento das resoluções normativas foi possível estabelecer critérios que possibilitam a boa prática e funcionamento do projeto obedecendo os padrões impostos para que o mesmo não apresente perigo e incompatibilidades ao seu utilizador.

Com todo o embasamento obtido nas etapas anteriores, com a coleta dos dados foi possível entender a instalação do local e realizar o dimensionamento, onde através da Equação de demanda vista no capítulo 2.5.4, obteve-se a demanda da unidade consumidora, com o fornecimento das coordenadas do local esse dimensionamento foi intensificado e melhorado com a utilização do *Software PVSyst®*, o mesmo consegue prever situações, como fatores de temperatura, humidade relativa e velocidade do vento no local, aspectos esses que influenciam diretamente a capacidade de geração.

Com os dados fornecidos pelo programa foi possível identificar as perdas que foram subtraídas do HSP fornecido pelo CRESSEB, assim recalculando uma nova demanda decorrente ao novo HSP, levando em consideração também a orientação dos painéis e sua inclinação, com isso a análise técnica pode ser realizada, assim sendo possível levantar o custo gerado para o investimento e realizar a análise do *Payback*, VPL (valor líquido presente) e a TIR (taxa interna de retorno) como resultado da pesquisa identificando a viabilidade econômica.

5.2 Objetivo técnico

O objetivo técnico se dará na projeção de uma usina fotovoltaica *On-Grid* para uma concessionária de veículos no município de três corações (MG), o local escolhido além de seu *showroom* de veículos apresenta uma ampla oficina, que contribui para a maior parte do consumo de energia, o intuito é projetar e apresentar um estudo que demonstre um dimensionamento com uma ótima eficiência, bons equipamentos que garantam uma alta taxa de desempenho linear por um longo período de tempo e evidenciar sua viabilidade econômica para tal implantação, assim para que a mesma zere ou otimize seu custo com a fatura de energia.

5.3 Execução dos estudos técnicos

A localização geográfica da concessionária é descrita pela Latitude - 21.66510828487979 ° S (SUL), Longitude -45.27995838176927°W (Oeste). Essa localização é importante para que o *software* realize um dimensionamento correto, pois essas posições definem a irradiação no local. A Figura 20 apresenta o local da instalação

Figura 20 - Localização da instalação



Fonte: Adaptado (Google® Maps®,2021)

A unidade consumidora, se encontra em um local favorável onde não apresentam estruturas, arvores ou outros fatores que possam sombrear o sistema causando percas, o local escolhido para a implantação dos painéis será no telhado frontal da concessionária, por apresentar uma ampla área, fatores de sombreamento zero e por sua melhor orientação em relação ao tempo exposto aos raios solares, com uma análise mais detalhada, constatou a inclinação do telhado que é de 15° conforme mostra a Figura 21.

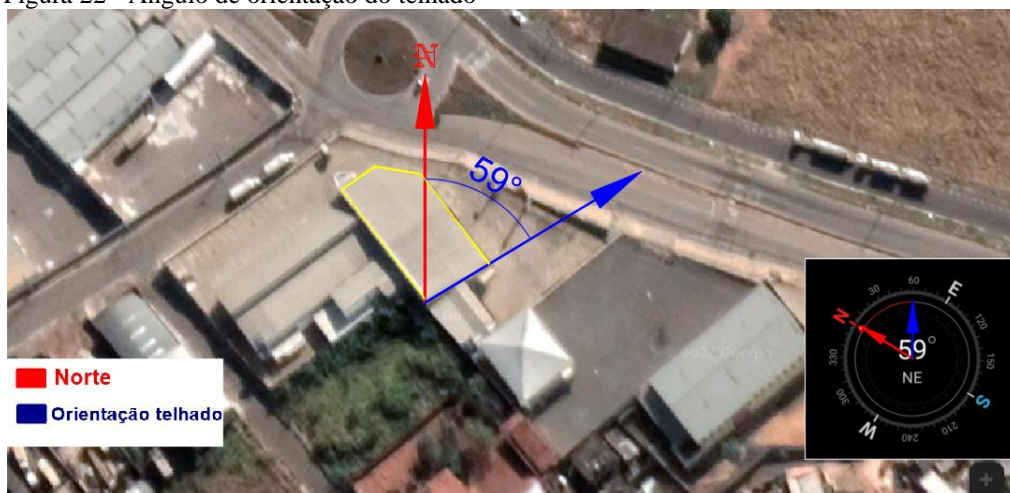
Figura 21 - Inclinação do telhado da instalação



Fonte: Autor

Segundo Siqueira (2013), a melhor orientação dos painéis é voltada para linha do equador que na maioria dos estados brasileiros é para o Norte, conforme mostra a Figura 22 retiradas do Google® Maps®, pode se destacar o telhado da unidade consumidora e a indicação do Norte em relação a ele, e com o auxílio de uma bússola no local e do programa Autocad®, pode verificar o angulo de compensação para essa orientação assim obtendo o ângulo de orientação.

Figura 22 - Ângulo de orientação do telhado



Fonte: Adaptado (Google® Maps®,2021)

Para o dimensionamento da planta, segundo Pinho e Galdino (2014, p. 328) deve se levantar o consumo médio diário anual do local (Wh/dia), este dado pode ser encontrado na fatura de energia da instalação, no campo histórico mensal de consumo descrito em kWh, conforme demonstra a Figura 23 referente a fatura do local.

Figura 23 - Histórico de consumo

Histórico do Consumo		Histórico de Consumo	
Mês/Ano	Consumo em kWh	Mês/Ano	Consumo em kWh
abr/21	2788	abr/21	2788
mar/21	2419	mar/21	2419
fev/21	2501	fev/21	2501
jan/21	2501	jan/21	2501
dez/20	2501	dez/20	2501
nov/20	2173	nov/20	2173
out/20	2009	out/20	2009
set/20	1763	set/20	1763
ago/20	1845	ago/20	1845
jul/20	1599	jul/20	1599
jun/20	2255	jun/20	2255
mai/20	1845	mai/20	1845
abr/20	1722	abr/20	1722
Total :	27921	Total :	27921

Fonte: Autor

Com a soma de todos os consumos totalizando 27921 kWh e a divisão deles pelo número de meses apresentados, (na fatura apresenta 13 meses) pode se chegar ao consumo médio mensal igual a 2147,77 kWh que dividido pelos dias do mês como 30 dias (2147,77/ 30), obtemos o consumo médio por dia igual a 71,593 kWh/ dia

Com esses dados obtidos, pode-se calcular a potência da usina com a Equação 01 já apresentada anteriormente. Admitido que o P_{FV} (Wp) será a potência de todo o arranjo de painéis. Para encontrar o restante das variáveis toma-se os seguintes parâmetros.

O HSP da região pode ser encontrado com a inserção das coordenadas na plataforma *Sundata* no site do CRESEB (Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito), conforme a Figura 24.

Figura 24 - Inserção das coordenadas

Fonte: (CRESEB,2021)

Com isso, no entanto o mesmo fornece a incidência de três pontos próximos da coordenada fornecida, assim foi adotado a mais próxima conforme mostra a Figura 25, que se refere a 5,1 km de distância do ponto estabelecido.

Figura 25 - Localidade mais próxima acerca da coordenada

Localidades próximas																					
Latitude: 21,665108° S																					
Longitude: 45,279958° O																					
#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]										Média	Delta					
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul			Ago	Set	Out	Nov	Dez
<input checked="" type="checkbox"/>	Tres Coracoes	Tres Coracoes	MG	BRASIL	21,701° S	45,249° O	5,1	5,46	5,65	4,85	4,60	3,90	3,66	3,90	4,77	5,03	5,39	5,22	5,62	4,84	2,00
<input type="checkbox"/>	Tres Coracoes	Tres Coracoes	MG	BRASIL	21,601° S	45,249° O	7,8	5,40	5,62	4,78	4,51	3,90	3,72	3,94	4,82	5,04	5,33	5,15	5,54	4,81	1,90
<input type="checkbox"/>	Tres Coracoes	Tres Coracoes	MG	BRASIL	21,701° S	45,349° O	8,2	5,42	5,70	4,87	4,58	3,91	3,68	3,92	4,79	5,04	5,39	5,24	5,69	4,85	2,02

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

Fonte: (CRESEB,2021)

Esses dados remetem a uma irradiância ao plano horizontal da terra, ou seja, como se os painéis fossem literalmente colocados na superfície do solo, com 0° de inclinação totalizando com um HSP médio de 4,84. Para uma assertividade maior, foi adotado os dados para o plano inclinado na maior média anual, ou seja, orientados para o norte com uma inclinação de 22°, assim remetendo a um maior índice do HSP. Na Figura 26, pode se destacar a comparação entre o plano inclinado e o plano horizontal através da tabela, onde a media do plano horizontal fica em 4,84 e para o plano inclinado em 21° se daria em 5,08

Figura 26 - Media HSP

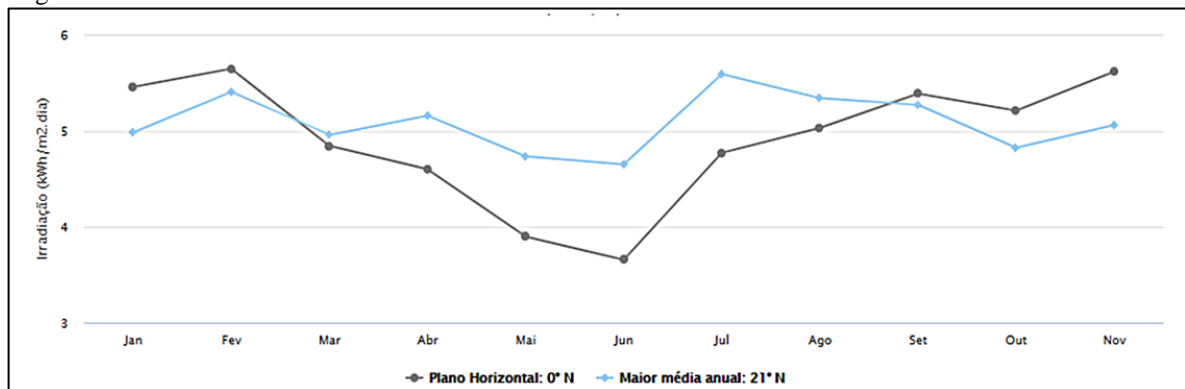
Cálculo no Plano Inclinado																
Estação: Tres Coracoes Município: Tres Coracoes , MG - BRASIL Latitude: 21,701° S Longitude: 45,249° O Distância do ponto de ref. (21,665108° S; 45,279958° O):5.1 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,46	5,65	4,85	4,60	3,90	3,66	3,90	4,77	5,03	5,39	5,22	5,62	4,84	2,00
<input type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	22° N	4,96	5,39	4,96	5,18	4,76	4,69	4,92	5,62	5,35	5,26	4,80	5,03	5,08	,93
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	4,99	5,41	4,96	5,16	4,74	4,65	4,89	5,60	5,35	5,28	4,83	5,06	5,08	,94
<input type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	24° N	4,89	5,34	4,94	5,20	4,82	4,76	4,99	5,67	5,35	5,22	4,74	4,95	5,07	,93

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Tres Coracoes–Tres Coracoes, MG–BRASIL

Fonte: (CRESESB,2021)

Os gráficos na Figura 27, demonstram a diferença entre os dois planos, assim evidenciando uma maior estabilidade para o plano inclinado.

Figura 27 - Estabilidade HSP



Fonte: (CRESESB,2021)

Adotado assim para esse sistema a média do HSP de 5,08. Para uma análise detalhada e uma assertividade maior, o uso do *software* ajuda compreender aspectos que influenciam na capacidade geradora, o uso do Programa *PVsys*® foi adotado. A aba do programa abaixo, evidenciado pela Figura 28, mostra os dados meteorológicos do local indicado pelas coordenadas inseridas com base nos dados do *Meteonorm 8.0*, *software* esse que fornece parâmetros climáticos para que o *PVsys*® consiga identificar o clima no local escolhido, são dados de cada mês, sendo respectivamente da esquerda para direita, a irradiação horizontal, a irradiação difusa, temperatura, velocidade do vento, turvação de *linke* e umidade relativa. Observa-se que a irradiação varia entre 118,8 kWh/m²/mês em junho a 195,6 kWh/m²/mês em janeiro

Figura 28 - Dados meteorológicos do local

Parâmetros da localização, nova localização

Coordenadas geográficas Meteorologia mensal Mapa interativo

Localização **TCC 2- LOCALIZAÇÃO (Brasil)**

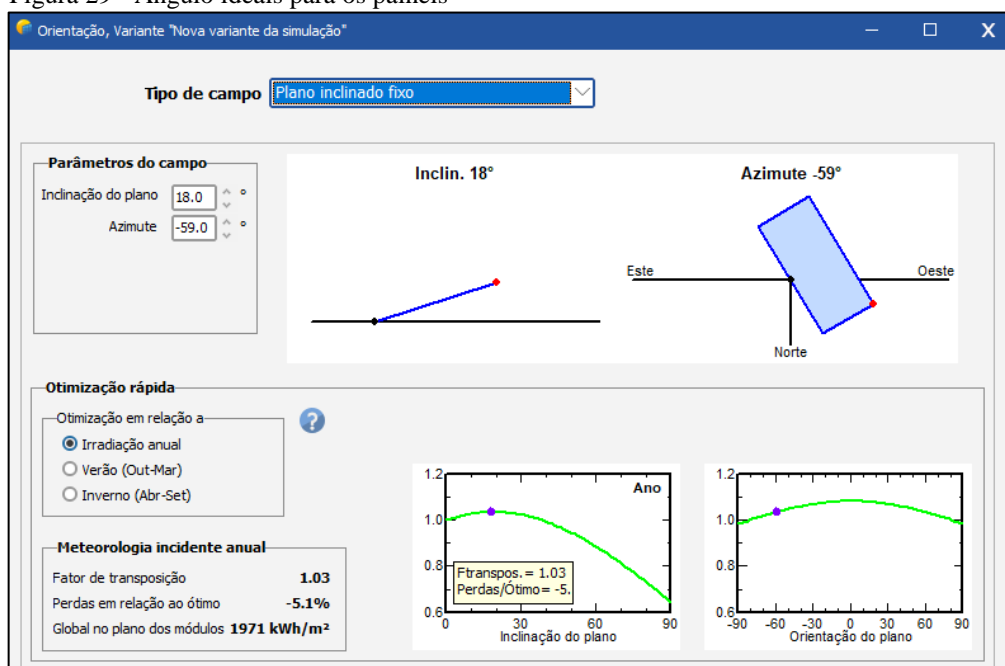
Fonte dos dados Meteororm 8.0 (2008-2015), Sat=100%

	Irradiação horizontal total	Irradiação difusa horizontal	Temperatura	Velocidade do vento	Turvação de Linke	Humidade relativa
	kWh/m²/mês	kWh/m²/mês	°C	m/s	[-]	%
Janeiro	195.6	73.0	23.3	2.70	3.183	75.0
Fevereiro	154.8	75.7	23.8	2.59	3.141	72.2
Março	167.1	73.8	22.8	2.49	3.130	77.2
Abril	147.4	54.5	21.0	2.40	2.940	78.8
Maio	131.7	41.7	18.8	2.40	2.811	76.3
Junho	118.8	37.4	17.6	2.30	2.771	77.4
Julho	136.9	35.6	17.5	2.49	2.828	73.0
Agosto	153.3	44.8	18.8	2.79	3.073	67.3
Setembro	166.7	59.1	20.0	3.00	3.851	68.4
Outubro	187.7	75.0	21.7	2.89	3.631	70.5
Novembro	161.4	80.6	21.1	2.90	3.377	79.2
Dezembro	183.7	87.6	22.8	2.70	3.238	77.2
Ano	1905.1	738.7	20.8	2.6	3.165	74.4

Fonte: (PVSystem®,2021)

Com o auxílio do PVSystem® pode-se intensificar a análise e realizar diversas simulações, assim verificar o melhor ângulo para a instalação dos painéis, a Figura 29 representa uma das simulações realizadas onde se constatou um novo valor para o HSP e inclinação dos painéis. Essas simulações demonstraram que para um ângulo tanto para maior quanto para menor de 18° haveria perdas maiores do que o 5,1% demonstrado.

Figura 29 - Ângulo ideais para os painéis



Fonte: (PVsyst®,2021)

Através desses dados, a simulação constatou que o ângulo de 18° atende melhor o perfil da usina, tendo que realizar um ajuste na instalação, pois o telhado apresenta inclinação de 15°. O ângulo azimute foi mantido devido a manter a harmonia da fachada da concessionária, pois a mesma fica em frente a uma avenida de onde pode se observar sua fachada e seu telhado, assim também suprindo gastos devido a necessidade de materiais para compensar o ângulo azimute em relação ao norte, assim atendendo sua estética, pois a mesma deve manter padrões perante a sua bandeira (Marca). Com isso também possibilitou obter o valor do HSP mais próximo do real, ou seja, com esses parâmetros, na janela do programa a perda está estimada em 5,1% do HSP de 5,08, sendo assim, reajustado para um HSP de 4,78.

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 329), um Sistema fotovoltaico bem ventilado e não sombreado, uma TD (taxa de desempenho) entre 70 e 80% podem ser admitidas perante a radiação solar encontradas no Brasil, o desempenho também é fortemente influenciado pela tecnologia e temperatura ambiente, com isso uma TD 80% foi admitida ou seja 0,8.

Com todos os dados obtidos, a Equação pode ser realizada:

$$P_{FV(Wp)} = \frac{71,593/0,8}{4,78} = 18,72 \text{ kW Pico}$$

Com isso pode-se obter o valor base para o dimensionamento da usina, para que ela satisfaça 100% da demanda necessária

Os módulos escolhidos para utilização desse estudo de caso, remete ao do fabricante Jinko, modelo JKM460M-60HL4-V 460W TIGER PRO, cuja sua potência é de 460W, com eficiência de 21,32%, módulos esses que o fabricante garante 25 anos de energia linear, para atender esse sistema serão necessários no mínimo 41 painéis, cada módulo ocupa uma área de 2,158 m², necessitando uma área no total de 88,47m². O telhado dispõe no total de 683,85m², mais que o necessário para atender a instalação dos módulos. Em pesquisa fabricantes como a Jinko em painéis solares e Fronius em inversores, apresentam um alto grau de satisfação e qualidade, parâmetro esse utilizado para escolha dos mesmos.

5.4 Objetivos Financeiros

Com o dimensionamento da usina realizado, o objetivo financeiro é demonstrar a viabilidade econômica desse estudo, em quanto tempo o investimento se pague, levando em consideração a desvalorização da moeda em um certo período, evidenciando assim se ele apresenta atrativo ou não para a implantação no local.

5.5 Execução dos estudos financeiros

Para a análise de viabilidade econômica, serão utilizados os conceitos já citados anteriormente como o *Payback*, TIR (taxa interna de retorno) e VPL (valor presente líquido), assim considerando os dados de investimento inicial, ajuste na tarifa de energia e taxas de juros no período de 25 anos, tempo esse estipulado devido ao fabricante garantir a eficiência dos módulos. Partindo do sistema projetado, foi verificado com empresas da região para estipular o valor da instalação do sistema, projeto e homologação, onde os valores se deram da seguinte forma:

Foi selecionado um kit na plataforma da Aldo no valor de R\$ 78.749,00, de maneira a otimizar os custos e assim utilizar os equipamentos sugeridos no dimensionamento da usina, os valores cotados com empresas da região estipulam o valor médio da mão de obra para instalação junto ao projeto de Microgeração para conexão do sistema a rede e processo de homologação junto a concessionária de energia, o kit da Aldo escolhido apresenta a seguinte descrição:

Gerador Fotovoltaico 17,48 kWp Jinko Tiger pro mono 460W Symo 15kW 2mppt Ttif 380V
é composto por:

- a) Conector Mc4 - Acoplador Femea
- b) Conector Mc4 - Acoplador Macho
- c) 1 Inversor Solar Fronius Symo 15kw Trifasico 380v 2 Mppt Monitoramento
- d) Cabo solar nexans - energyflex afitox 0,6/1kv 1500v dc Preto
- e) Cabo solar nexans - energyflex afitox 0,6/1kv 1500v dc vermelho
- f) Estrutura solar para telha metálica trapezoidal
- g) *String box* (2 mppts)
- h) 38 Painéis solar jinko 60hl4-v 460w tiger pro mono half cel 21,32% efic 120 cel

Os Valores de instalação foram cotados por parte de 3 empresas da região onde as mesmas concordaram realizar a instalação do kit. A fim de estipula-los para análise de viabilidade econômica, foi realizado a média dos 3 valores cotados, os mesmos não incluem possíveis modificações que tenham que ser feitas para adequação da planta no local, com isso chegou se ao valor de R\$ 33.743,00, onde se contempla

- a) Mão de obra para Instalação do sistema
- b) Projeto de Microgeração para conexão à rede
- c) Processo para homologação do sistema a concessionaria de energia elétrica

Com isso o valor final a ser investido, totalizou em R\$ 112.492,00 (Cento e doze mil quatrocentos e noventa e dois reais)

Para realização dos cálculos de viabilidade econômica, será apresentado as taxas e tributos utilizados para tal fins. Em consulta a ANEEL (agencia nacional de energia elétrica) pode se encontrar o histórico de reajuste de tarifas em um período de 10 anos que compreende os dados de 2011 a 2021, conforme Tabela 03 abaixo,

Tabela 03 - Reajustes de tarifas

Ano	Reajuste %
2021	7,04%
2020	3,25%
2019	1,67%
2018	14,99%
2017	4,83%
2016	-1,49%
2015	30,73%
2014	17,65%
2013	-15,91%
2012	5,04%
2011	3,17%
Média	7,10%

Fonte: Autor

Baseados nos dados da Figura 03, será adotado a média dos ajustes tarifários do período de 10 anos para fins de cálculos ou seja 7,1% ao ano.

Para a TMA (taxa mínima de atratividade), a taxas de juros foram obtidas no mercado futuro de 2021 até 2036, respectivamente sendo 6,622% (2021) a 11,31% (2036), o restante dos anos vigentes não se obtém valores, adotou como estipulação crescimento percentual referente aos dois últimos anos apresentados.

A taxa de energia elétrica toma se como base e demonstrada na fatura e evidenciada na Figura 30 abaixo, informada pela CEMIG, que se trata da concessionária vigente na região. Foi considerado para base de cálculos o valor referente a bandeira amarela, devido ao histórico apresentar variações de bandeiras em faturas passadas e demonstrar uma maioridade na representação desta. O local é classificado como Comercial Trifásico e modalidade tarifária Convencional B.

Figura 30 - Taxa de energia Cemig

B3 - DEMAIS CLASSES	BANDEIRA VERDE - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA AMARELA - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 1 - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 2 - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA ESCASSEZ HÍDRICA - CONSUMO R\$/KWH
Demais classes (Consumo R\$/kWh)	0,618050	0,636790	0,657760	0,712970	0,760050

Fonte: (CEMIG,2021)

Abaixo a Tabela 04, evidencia as variáveis utilizadas para a realização dos cálculos onde podem ser expressos nos tópicos a seguir.

Tabela 04 - Valores de variáveis utilizados

Variável econômica	Valores
Taxa mínima de atratividade(TMA)	6,6 a 14,295
Taxa de energia elétrica atual	0,63790
Ajuste de tarifas anual de energia elétrica	7,1%
Custo do investimento	R\$ 112.492,00

Fonte: Autor

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo será apresentado os resultados perante aos estudos realizados na área técnica e econômica.

6.1 Resultados técnicos

Com os dados levantados inseridos no *PVsystem*®, o *software* gerou o dimensionamento de 17.5 kWp de geração com os equipamentos escolhidos, ou seja, foram 38 painéis de 460W da Jinko, ocupando uma área de 82 m² e o inversor FRONIUS de 15 kW trifásico 380V, totalmente compatível com a instalação do local, não havendo a necessidade de alteração da mesma, assim a Figura 31, evidencia o melhoramento da análise realizada anteriormente conforme será evidenciado na Tabela 05.

Figura 31 - Dimensionamento com software

The screenshot displays the PVSystem software interface, organized into three main sections:

- Seleção do módulo FV:** Shows available modules with filters. The selected module is Jinkosolar, 460 Wp 29V, Si-mono, Tiger Pro JKM460M-60HL4-V, starting from 2020. It includes a search button 'Abrir' and a checkbox for 'Utilizar otimizador'. Operating voltages are listed: V_{mpp} (60°C) = 30.7 V and V_{co} (-5°C) = 47.0 V.
- Seleção do inversor:** Shows available inverters. The selected inverter is Fronius International, 15 kW, 200 - 800 V TL, 50/60Hz, Fronius Symo 15.0-3-M, starting from 2013. It includes a search button 'Abrir' and frequency selection (50 Hz and 60 Hz). Configuration includes: 2 inputs, multi-MPPT checked, operating voltage range 200-800 V, and maximum input voltage 1000 V. The inverter power used is 15.0 kWca.
- Dimensionamento do grupo:** Shows the number of modules and strings. 19 modules are in series, and 2 strings are configured. Losses are 0.5% and the ratio is 1.17. The final configuration is 38 modules on a surface of 82 m². Operating conditions are: V_{mpp} (60°C) = 583 V, V_{mpp} (20°C) = 680 V, V_{co} (-5°C) = 892 V. Irradiance is 1000 W/m². Maximum power is 16.0 kW. Nominal power of the group (STC) is 17.5 kWp.

Fonte: (*PVSystem*®,2021)

Esses dados são originados a partir das informações inseridas no *PVsystem*®, que remetem ao modelo e marca do módulo e inversor escolhidos.

Com isso o programa fornece um relatório (APÊNDICE A), onde pode se averiguar fatores como a quantidade de energia gerada e perdas que podem ser ocasionadas por variáveis

externas. A Tabela 07 a seguir mostra uma tabela gerada pelo relatório, evidenciando a capacidade de geração de energia do sistema.

Tabela 05- Capacidade de geração

Balancos e resultados principais								
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	rácio
Janeiro	195.6	72.98	23.34	190.4	182.7	2.805	2.739	0.823
Fevereiro	154.8	75.66	23.83	153.7	147.2	2.277	2.224	0.828
Março	167.1	73.83	22.84	168.9	162.0	2.516	2.457	0.832
Abril	147.4	54.46	20.99	156.4	149.9	2.356	2.300	0.841
Mai	131.7	41.68	18.81	144.1	137.7	2.202	2.152	0.854
Junho	118.8	37.43	17.58	134.4	128.0	2.073	2.027	0.863
Julho	136.9	35.57	17.46	154.0	146.9	2.368	2.316	0.860
Agosto	153.3	44.80	18.78	166.0	158.9	2.533	2.475	0.853
Setembro	166.7	59.08	20.00	172.9	165.9	2.602	2.542	0.841
Outubro	187.7	75.04	21.68	188.7	181.0	2.814	2.749	0.833
Novembro	161.4	80.57	21.07	155.5	148.8	2.325	2.270	0.835
Dezembro	183.7	87.63	22.75	176.0	168.4	2.618	2.556	0.831
Ano	1905.1	738.73	20.75	1961.1	1877.4	29.489	28.806	0.840

Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		

Fonte: (PVSystem®,2021)

Conforme mostra os dados da Tabela 05, pode se averiguar que o *software* estima uma geração para um ano em 28.568 MWh na coluna *E-Grid*, já na *EArray* observa que a energia efetiva na saída dos arranjos e de 29.434 MWh maior que a mencionada na *E-Grid*, ou seja o programa já considerou parte dessa energia para o funcionamento do próprio sistema, mais as perdas que foram inseridas por sujeira nos módulos, perdas ôhmicas, degradação do sistema e ventilação.

6.2 Considerações acerca dos resultados Técnicos

Para uma verificação direta, foi considerado a geração ser o mais próximo do 100% possível para atender a demanda, o consumo obtido no histórico da fatura citado anteriormente, se dava em 27921 kWh ao ano, ou seja, considerando todas as perdas estima gerar 102,317% da demanda calculada, assim mesmo que o sistema tenha uma potência de 17.5 kWp , ele conseguiu suprir o consumo e ainda conter créditos de 2,317 % anuais . Em virtude dos dados analisados, verificados e potencializados com o auxílio do *Software PVsystem®*, pode averiguar que foi possível atender a demanda e ainda gerar créditos anuais, ou seja, o dimensionamento demonstra-se promissor assim atingindo seu objetivo.

6.3 Resultados financeiros

De acordo com as variáveis definidas já anteriormente, utilizou a fórmula do VPL e TIR, assim chegando aos resultados econômicos do investimento para a projeção do sistema, com isso possibilitou montar a Tabela 06 abaixo, onde pode-se encontrar também o *Payback*.

Tabela 06 - Resultados econômicos

Ano	TMA	Fluxo de caixa	Fluxo descontado	Payback	VPL	TIR
0	6,62%	-R\$ 112.492,00	-R\$ 112.492,00	-R\$ 112.492,00	-R\$ 112.492,00	
1	8,57%	R\$ 3.800,00	R\$ 3.563,99	-R\$ 108.928,01	R\$ 317.894,26	25%
2	9,62%	R\$ 24.418,80	R\$ 20.715,56	-R\$ 88.212,45	R\$ 385.459,76	25%
3	9,94%	R\$ 26.152,53	R\$ 19.854,92	-R\$ 68.357,53	R\$ 392.845,95	25%
4	10,29%	R\$ 28.009,36	R\$ 19.176,06	-R\$ 49.181,47	R\$ 380.668,13	25%
5	10,50%	R\$ 29.998,03	R\$ 18.386,15	-R\$ 30.795,32	R\$ 374.554,24	25%
6	10,60%	R\$ 32.127,89	R\$ 17.652,36	-R\$ 13.142,96	R\$ 372.689,28	25%
7	10,72%	R\$ 34.408,97	R\$ 16.997,53	R\$ 3.854,57	R\$ 370.447,85	25%
8	10,86%	R\$ 36.852,01	R\$ 16.317,46	R\$ 20.172,03	R\$ 367.728,68	25%
9	10,95%	R\$ 39.468,50	R\$ 15.605,47	R\$ 35.777,50	R\$ 367.187,10	25%
10	11,02%	R\$ 42.270,76	R\$ 14.961,07	R\$ 50.738,57	R\$ 367.201,69	25%
11	11,02%	R\$ 45.271,99	R\$ 14.335,61	R\$ 65.074,18	R\$ 370.003,95	25%
12	11,05%	R\$ 48.486,30	R\$ 13.829,43	R\$ 78.903,61	R\$ 371.972,61	25%
13	11,05%	R\$ 51.928,83	R\$ 13.294,35	R\$ 92.197,96	R\$ 375.186,92	25%
14	11,02%	R\$ 55.615,77	R\$ 12.821,48	R\$ 105.019,44	R\$ 379.662,01	25%
15	11,31%	R\$ 59.564,49	R\$ 12.415,64	R\$ 117.435,08	R\$ 373.559,38	25%
16	11,61%	R\$ 63.793,57	R\$ 11.487,62	R\$ 128.922,70	R\$ 367.816,69	25%
17	11,92%	R\$ 68.322,91	R\$ 10.558,78	R\$ 139.481,47	R\$ 362.472,55	25%
18	12,24%	R\$ 73.173,84	R\$ 9.638,67	R\$ 149.120,15	R\$ 357.565,08	25%
19	12,54%	R\$ 78.369,18	R\$ 8.736,55	R\$ 157.856,69	R\$ 353.957,92	25%
20	12,83%	R\$ 83.933,40	R\$ 7.903,08	R\$ 165.759,78	R\$ 351.316,38	25%
21	13,13%	R\$ 89.892,67	R\$ 7.125,38	R\$ 172.885,15	R\$ 349.106,79	25%
22	13,42%	R\$ 96.275,05	R\$ 6.379,73	R\$ 179.264,89	R\$ 347.857,68	25%
23	13,71%	R\$ 103.110,57	R\$ 5.694,31	R\$ 184.959,20	R\$ 347.317,99	25%
24	14%	R\$ 110.431,42	R\$ 5.057,37	R\$ 190.016,57	R\$ 347.503,97	25%
25	14,29%	R\$ 118.272,06	R\$ 4.469,52	R\$ 194.486,09	R\$ 110.792,11	25%

Fonte: Autor

6.4 Considerações acerca dos resultados Financeiros

Com os dados estabelecidos pela tabela, pode-se verificar que o VPL apresenta se positivo pois:

- VPL negativo: Valores investidos maiores que as receitas, resulta em inviável
- VPL positivo: Receitas maiores que o investimento, resulta em viável

c) VPL zero: investimento e receitas são iguais, investimento indiferente

Já o *Payback* é alcançado no ano 6, já gerando lucro no ano seguinte, a princípio pode ser dizer que a instalação do projeto é viável, pois o capital é retornado depois de alguns anos, no entanto se faz também apurar o resultado da TIR em relação a TMA, onde:

a) TMA maior que a TIR, resulta em economicamente inviável

b) TMA igual a TIR, resulta em indiferente

c) TMA menor que a TIR resulta em economicamente viável

Portanto segundo os cálculos realizados e analisados representados pela planilha chegou em uma TIR de 25%, em vista que a maior TMA se dá em 14,295%, o projeto se torna também por esse indicador economicamente viável.

7 CONCLUSÃO

De acordo com que se ocorre no local da instalação devido ao valor da fatura que muitas vezes apresentam as bandeiras tarifárias que refletem os custos variáveis da geração de energia, e que situações climáticas resultam diretamente sobre a matriz hídrica do país estabelecendo muitas das vezes o aumento no valor da fatura de energia elétrica, embasado nas RN482 e RN687, a opção da instalação de uma usina fotovoltaica foi adotada e apresentada para sanar esse custo.

Diante desta perspectiva, o conceito da projeção e o estudo da viabilidade econômica foram realizados, assim analisando e alcançando um resultado satisfatório tanto quanto na geração de energia, quanto na situação custo benefício, toda a pesquisa em campo teve sua importância para constatar, desde dimensões do local, ângulos de orientação e instalação em lugares apropriados. As verificações do local até a análise de geração tiveram o auxílio computacional, que foram de total importância para estabelecer critérios como, noção da dimensão da instalação, valores de geração levando em consideração fatores que influenciam em sua perda de eficiência, melhor ângulo de orientação dos painéis para uma melhor produção de energia e análise da viabilidade econômica desse investimento.

Com todo embasamento teórico, estudo de caso e aplicação das equações de viabilidade econômica, o projeto apresenta se promissor e viável, ainda gerando lucro a partir de aproximadamente 6 anos e 8 meses em um total de 25 anos analisados, desta maneira concluindo que os objetivos propostos nesse estudo foram alcançados, no entanto esse material demonstra que o engenheiro não só deve ficar atento as normas e a uma projeção correta, mas também deve se atentar a qualidade dos materiais adotados e um fator decisivo, o “custo”, pois quando se há uma procura para esse tipo de projeto, ela se dá de forma a querer diminuir os custos mensais e investir o mínimo, buscando qualidade, eficiência e tempo de retorno, o engenheiro deve estar atento ao todo como completo, sabendo identificar esses limites e orientando para que o projeto saia com esses fatores atendidos tanto na parte técnica e econômica, além disso deve estar apto em indicar outras formas possíveis para economia de energia caso a primeira alternativa não seja viável, com isso para proposta de estudos futuros pode se verificar a viabilidade de uma demanda contratada para o local.

REFERÊNCIAS

- ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA- Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/> / >. Acesso em 22 de out. de 2021
- ALVES, G. Henrique. Projeto e análise da viabilidade econômica da instalação de painéis fotovoltaicos no setor industrial. São Carlos, 2016. Monografia (Graduação em engenharia elétrica com ênfase em sistemas de energia e automação). Escola de engenharia de São Carlos. São Carlos.
- ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL: Banco de dados solarimétricos / Coordenador Chigueru Tiba... et al.- Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>
- ALDO SOLAR - Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/> >. Acesso em 7 de setembro de 2021
- BERTO, Alessandra. Solar Brasil, 27 de out. de 2017
Disponível em: < <https://www.solarbrasil.com.br/blog/modulos-fotovoltaicos-caracteristicas-eletricas/> >. Acesso em 22 de maio de 2021
- CARLOS J. Fluxo de caixa, 2016. Disponível em <http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/>. Acesso em out. de 2021.
- CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólicas Sérgio de S. Brito. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 21 de abril de 2021
- COURT, 2012, SOLAR POWER AUTHORITY, disponível em: <<http://solarpowerauthority.com/how-much-does-it-cost-to-install-solar-on-an-average-us-house/>> acesso em 25 de abril de 2021
- EERE, 2008 *Energy Efficiency and Renewable Energy – US Department of Energy “ PV Systems”* Disponível em http://www.eere.energy.gov/solar/pv_systems.html, acessado em 7 de ago. de 2021
- FATOR ENERGETICO –Fabricação do painel solar. Disponível em: < <https://fatorenergetico.com.br/fabricacao-do-painel-solar-passo-passo/> >. Acesso em: 7 de abril de 2021
- FONTES, Ruy: Geração distribuída da ANEEL avança com energia solar fotovoltaica. Disponível em: < <http://blog.bluesol.com.br/geracao-distribuida-da-aneel/>> Acesso em: 08 ago. de 2021.
- GITMAN, L.J. Princípios de Administração Financeira. 10º edição, São Paulo: Harbra, 2007.

GRENVOLT. Medidor bidirecional para sistema solar fotovoltaico 03 set. de 2019
Disponível em: < <https://greenvolt.com.br/medidor-bidirecional-para-sistema-solar-fotovoltaico/> >. Acesso em 10 de abr. de 2021

HELERBROCK, Rafael. "O que é efeito fotoelétrico?"; *Brasil Escola*. Disponível em:
<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm>. Acesso em 11 de jun. de 2021.

HELERBROCK, Rafael. "Sol"; *Brasil Escola*. Disponível em:
<<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/sol.htm>> Acesso em 2 de jun. de 2021.

HIOKI, A. T.; AMARANTE, B. C. Avaliação da Qualidade e Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos de Pequeno Porte Conectados à Rede Elétrica. Universidade Federal do Paraná, 2017.

INFOMONEY – Cotações de juros futuros. Disponível em<
<https://www.infomoney.com.br/ferramentas/juros-futuros-di/>> Acesso em 2 de jun. de 2021

MACEDO, Joel de Jesus. Análise de projeto e orçamento empresarial. Curitiba, 2014.

MATTEDE, Henrique, Mundo da Elétrica 20 de set. de 2016
Disponível em : < <https://www.mundodaeletrica.com.br/tipos-de-disjuntores-quais-sao/>>.
Acesso em 25 de maio de 2021

MEDEIROS, Valdemar , Solar eólica renovável 13 de abril de 2021
Disponível em : < <https://solareolicarenovavel.com/quais-os-tipos-de-painel-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em 27 de maio de 2021

MOURA, Giovanna Dias. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. Disponível em:<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3445027/mod_resource/content/1/solar%20complemento.pdf>. Acesso em 10 de jun. de 2021

RENATA F.C. como o VPL ajuda na análise de viabilidade de um investimento, 2017.
Disponível em: <https://www.treasy.com.br/>. Acesso em 10 de jun. de 2021

ROBERTO Zilles...[et al]. Sistemas Fotovoltaicos Conectados á Rede Elétrica; São Paulo: Oficina de textos, 2012.

PEREIRA E. B.et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Edição
São José dos Campos-2017

PINHO, João Tavares; GALDINHO, Marco Antônio. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPTEL – CRESESB, 2014.

PORTAL ENERGIA BRASIL. *On-grid* e *Off-grid* – Tipos de sistemas fotovoltaicos
24 de out. de 2019. Disponível em: <<https://portalenergiabrasil.com.br/tipos-de-sistemas-fotovoltaicos/> >. Acesso em 10 de abr. de 2021

SOUZA. Ronilson. Os sistemas de energia solar fotovoltaica ,11 de mar de 2016
Ribeirão Preto – SP

SIMIONI, T. O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do Brasil – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017. Disponível em: < <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/simioni.pdf> >. Acesso em: 10 de abril de 21

VILLALVA, Marcelo Gradella. Energia Solar Fotovoltaica- Conceitos e Aplicações; 2° ed; São Paulo: Érica 2015.

VILLALVA, Marcelo Gradella, Canal solar ,11 de julho de 2020 Disponível em : < <https://canalsolar.com.br/como-determinar-o-angulo-de-inclinacao-dos-modulos-fotovoltaicos/> / >. Acesso em 05 de abril de 2021

VINTURINI, Mateus. Canal solar ,26 de agosto de 2019
Disponível em : < <https://canalsolar.com.br/o-que-e-dps-e-como-e-usado-nos-sistemas-fotovoltaicos/> >. Acesso em 18 de maio de 2021

VINTURINI, Mateus. Canal solar ,22 de setembro de 2019 Disponível em : < <https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/> / >. Acesso em 08 de julho de 2021

APÊNDICE



Projeto: Projeção Usina Tres Corações TCC-2

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.2.6

VC0, Data da simulação: 18/10/21 22:12
com v7.2.6

Resumo do projeto

Localização geográfica TCC 2- LOCALIZAÇÃO Brasil	Localização Latitude -21.67 °S Longitude -45.28 °W Altitude 853 m Fuso horário UTC-3	Parâmetros projeto Albedo 0.20
Dados meteorológicos TCC 2- LOCALIZAÇÃO Meteonorm 8.0 (2008-2015), Sat=100% - Sintético		

Resumo do sistema

Sistema acoplado à rede Simulação para o ano n° 10	Sem cenário 3D de sombras, sem sombras		
Orientação do plano dos módulos Plano fixo Inclinação/Azimute 18 / -59 °	Sombras próximas Sem sombras	Exigências do consumidor Carga ilimitada (rede)	
Informação do sistema Grupo FV Número de módulos 38 unidades Pnom total 17.48 kWp	Inversores Número de unidades 1 Unidade Pnom total 15.00 kWca Rácio Pnom 1.165		

Resumo dos resultados

Energia produzida	28.57 MWh/ano	Produção específica	1634 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR	83.34 %
-------------------	---------------	---------------------	------------------	--------------------	---------

Índice

Resumo do projeto e dos resultados	2
Parâmetros gerais, Características do grupo FV, Perdas do sistema	3
Resultados principais	5
Diagrama de perdas	6
Gráficos especiais	7
Balanço de emissões CO ₂	8



Projeto: Projeção Usina Tres Corações TCC-2

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.2.6

VC0, Data da simulação: 18/10/21 22:12
com v7.2.6

Parâmetros gerais

Sistema acoplado à rede	Sem cenário 3D de sombras, sem sombras	
Orientação do plano dos módulos	Configuração dos sheds	Modelos utilizados
Orientação	No 3D scene defined	Transposição Perez
Plano fixo		Difuso Perez, Meteonorm
Inclinação/Azimute 18 / -59 °		Cicumsolar separado
Horizonte	Sombras próximas	Exigências do consumidor
Sem horizonte	Sem sombras	Carga ilimitada (rede)

Características do grupo FV

Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	Tiger Pro JKM460M-60HL4-V (Parâmetros definidos pelo utilizador)	Modelo	Fronius Symo 15.0-3-M (Parâmetros definidos pelo utilizador)
Potência unitária	460 Wp	Potência unitária	15.0 kWca
Número de módulos FV	38 unidades	Número de inversores	2 * MPPT 50% 1 unit
Nominal (STC)	17.48 kWp	Potência total	15.0 kWca
Módulos	2 Strings x 19 Em série	Tensão de funcionamento	200-800 V
Em condições de func. (50°C)		Rácio Phom (DC:AC)	1.17
Pmpp	16.04 kWp		
Umpp	607 V		
I mpp	26 A		
Potência FV total		Potência total inversor	
Nominal (STC)	17 kWp	Potência total	15 kWca
Total	38 módulos	N.º de inversores	1 Unidade
Superfície módulos	82.0 m²	Rácio Phom	1.17
Superfície célula	65.1 m²		

Perdas do grupo

Perdas sujidade grupo	Fator de perdas térm.	Perdas de cablagem DC						
Fração perdas 2.0 %	Temperatura módulos em função irradiância	Res. global do grupo 82 mΩ						
	Uc (const.) 20.0 W/m²K	Fração perdas 0.3 % em STC						
	Uv (vento) 0.0 W/m²K/m/s							
Perdas diodo série	LID - "Light Induced Degradation"	Perdas de qualidade dos módulos						
Queda de tensão 0.7 V	Fração perdas 0.6 %	Fração perdas -0.8 %						
Fração perdas 0.1 % em STC								
Perdas dos módulos com mismatch	Perdas devidas a mismatch, em fiadas	Degradação média dos módulos						
Fração perdas 0.5 % no MPP	Fração perdas 0.1 %	Ano n° 10						
		Fator de perda 0.06 %/ano						
		Mismatch devido á degradação						
		RMS da dispersão de Imp 0.4 %/ano						
		RMS da dispersão de Vmp 0.4 %/ano						
Fator de perda IAM								
Efeito de incidência (IAM): Fresnel, revestimento AR, n(vidro)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



Projeto: Projeção Usina Tres Corações TCC-2

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.2.6

VC0, Data da simulação: 18/10/21 22:12
com v7.2.6

Perdas de cablagem CA

Linha de saída do inversor até ao ponto de injeção

Tensão inversor 380 Vac tri
Fração perdas 1.33 % em STC

Inversor: Fronius Symo 15.0-3-M

Secção cabos (1 Inv.) Cobre 1 x 3 x 10 mm²
Comprimento dos cabos 60 m



Projeto: Projeção Usina Tres Corações TCC-2

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.2.6

VC0, Data da simulação: 18/10/21 22:12
com v7.2.6

Resultados principais

Produção do sistema

Energia produzida 28.57 MWh/ano

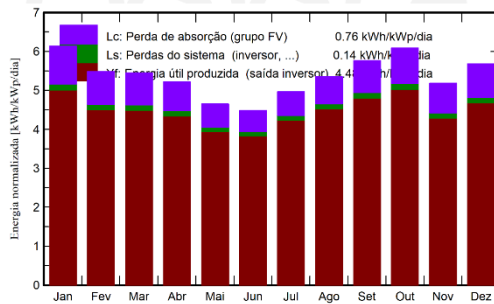
Produção específica

1634 kWh/kWp/ano

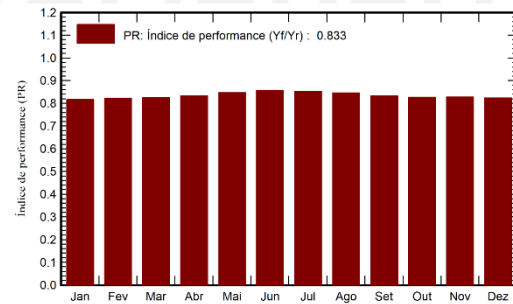
Índice de performance (PR)

83.34 %

Produções normalizadas (por kWp instalado)



Índice de performance (PR)



Balances e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	rácio
Janeiro	195.6	72.98	23.34	190.4	182.7	2.800	2.716	0.816
Fevereiro	154.8	75.66	23.83	153.7	147.2	2.273	2.206	0.821
Março	167.1	73.83	22.84	168.9	162.0	2.511	2.436	0.825
Abril	147.4	54.46	20.99	156.4	149.9	2.351	2.281	0.834
Mai	131.7	41.68	18.81	144.1	137.7	2.198	2.135	0.847
Junho	118.8	37.43	17.58	134.4	128.0	2.069	2.012	0.857
Julho	136.9	35.57	17.46	154.0	146.9	2.364	2.297	0.853
Agosto	153.3	44.80	18.78	166.0	158.9	2.528	2.454	0.846
Setembro	166.7	59.08	20.00	172.9	165.9	2.597	2.519	0.834
Outubro	187.7	75.04	21.68	188.7	181.0	2.808	2.725	0.826
Novembro	161.4	80.57	21.07	155.5	148.8	2.321	2.252	0.828
Dezembro	183.7	87.63	22.75	176.0	168.4	2.613	2.535	0.824
Ano	1905.1	738.73	20.75	1961.1	1877.4	29.434	28.568	0.833

Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		



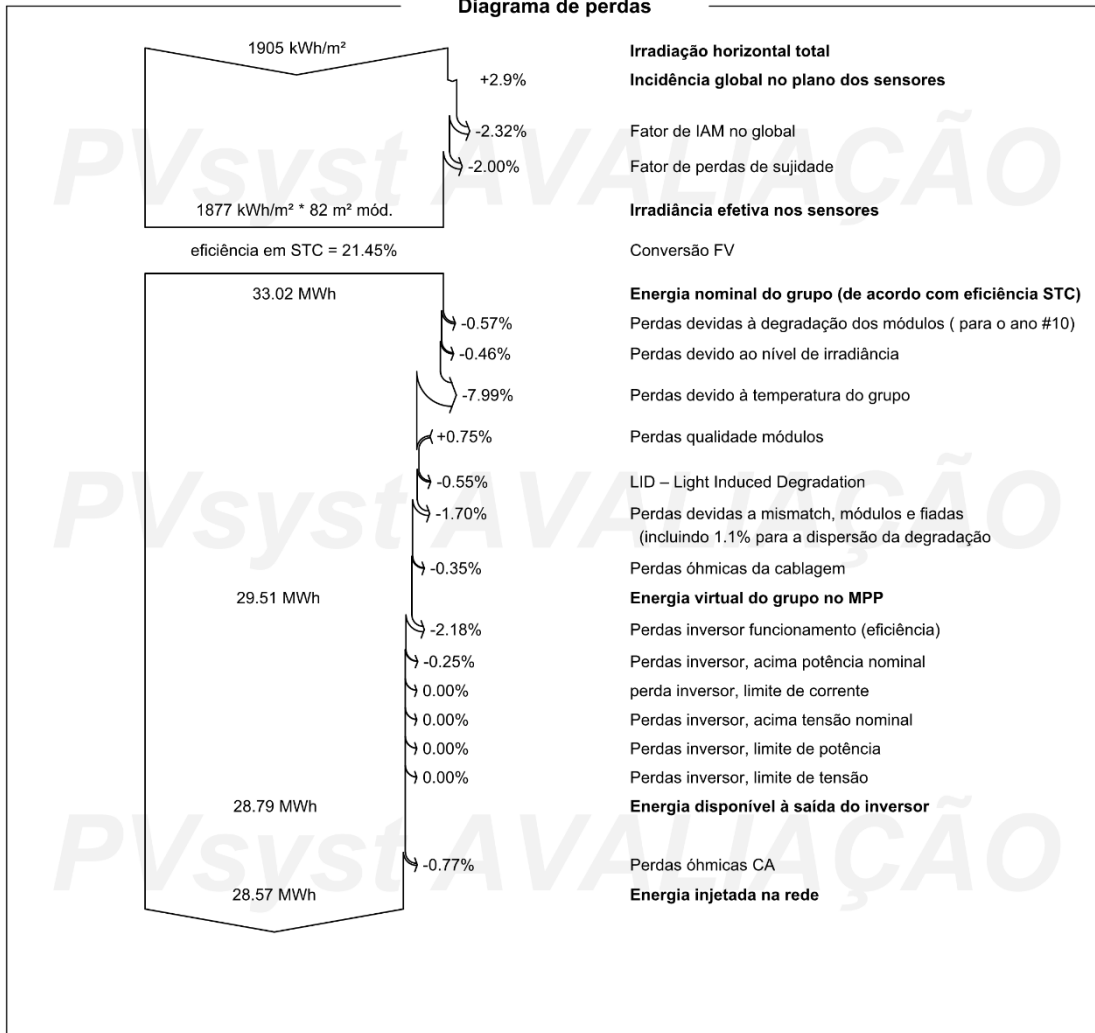
Projeto: Projeção Usina Tres Corações TCC-2

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.2.6

VC0, Data da simulação: 18/10/21 22:12
com v7.2.6

Diagrama de perdas





Projeto: Projeção Usina Tres Corações TCC-2

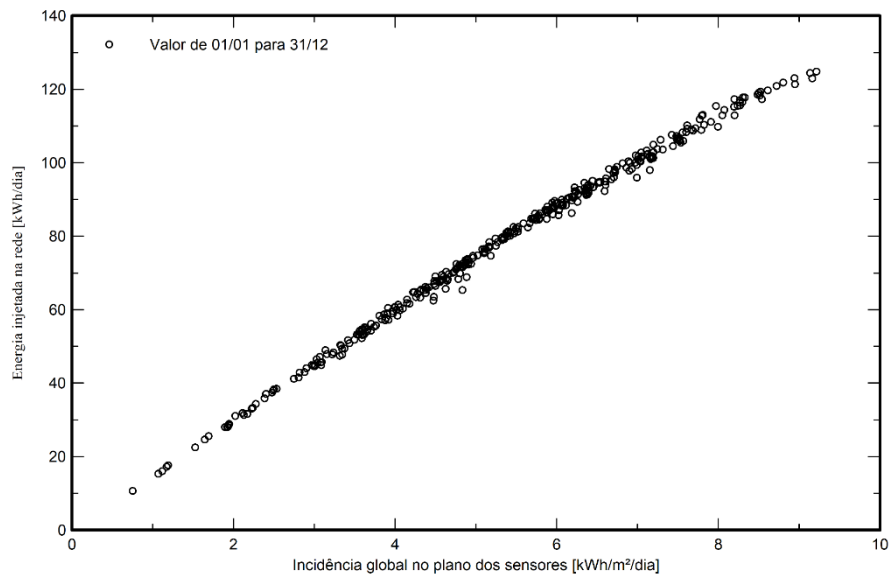
Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.2.6

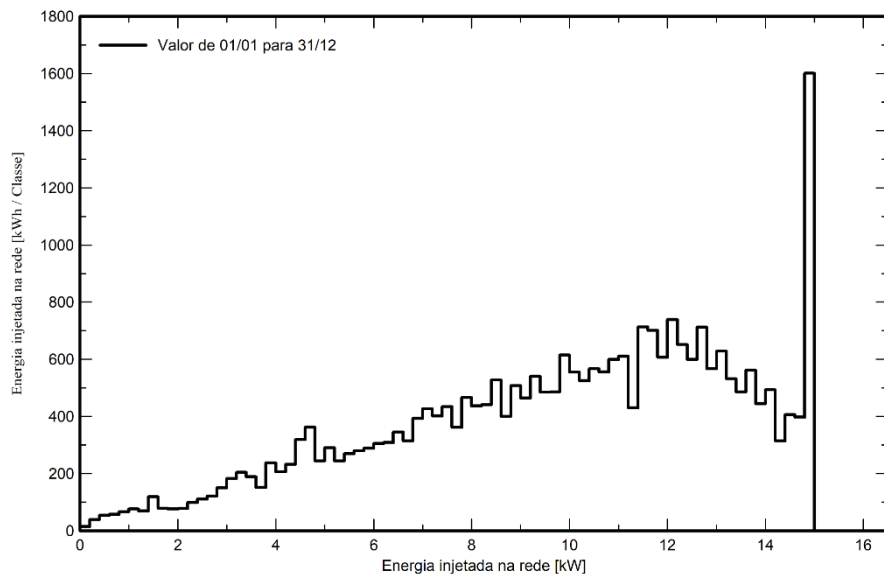
VC0, Data da simulação: 18/10/21 22:12
com v7.2.6

Gráficos especiais

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema





Projeto: Projeção Usina Tres Corações TCC-2

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.2.6

VC0, Data da simulação: 18/10/21 22:12
com v7.2.6

Balanco de emissões CO₂

Total: 20.6 tCO₂

Emissões geradas

Total: 39.68 tCO₂

Origem: Cálculo em detalhe na tabela abaixo:

Emissões evitadas

Total: 69.4 tCO₂

Produção do sistema: 28.57 MWh/ano

LCE - Emissões da rede: 81 gCO₂/kWh

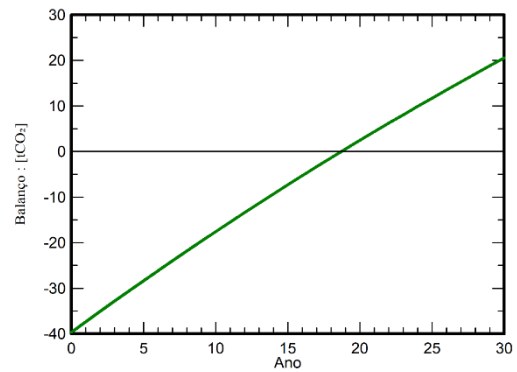
Origem: Lista TEA

País: Brazil

Tempo de vida: 30 anos

Deterioração anual: 1.0 %

Economia de emissões de CO₂ em função do tempo



Pormenores das emissões durante o ciclo de vida do sistema

Item	LCE	Quantidade	Subtotal
			[kgCO ₂]
Módulos	1527 kgCO ₂ /kWp	25.8 kWp	39324
Suporta	0.54 kgCO ₂ /kg	560 kg	303
Inversores	53.5 kgCO ₂ /	1.00	53.5