

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

PAULO JOSÉ ALVES LOPES

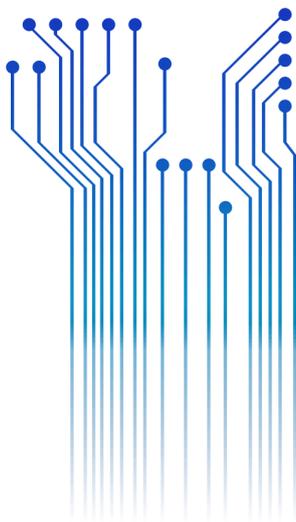


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ENERGIA FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO DE UMA FÁBRICA



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande - PB

2020

PAULO JOSÉ ALVES LOPES

ENERGIA FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO DE UMA FÁBRICA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande

2020

PAULO JOSÉ ALVES LOPES

ENERGIA FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO DE UMA FÁBRICA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Energias Renováveis

Aprovado em / /

Professor Edmar Candeia Gurjão.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

À minha família, que sempre me deram apoio incondicional para a realização do meu sonho, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Cleonerubens e Irlene, por sempre terem acreditado em mim e pelos esforços e sacrifícios, que me levaram a superar todas as adversidades ao longo dessa caminhada e me garantirem uma boa educação.

Agradeço aos meus irmãos, Dalieva e Matheus, pelo companheirismo, ajuda e mesmo distantes se fizeram presentes nas orações, telefonemas e momentos de lazer.

Agradeço a minha companheira, Thaiany, pela paciência, amor, carinho e companheirismo.

Agradeço a meu orientador, Professor Leimar Oliveira, pela paciência, pela colaboração, pela amizade verdadeira e sincera, pelo seu carisma e simpatia, por ser um grande exemplo de profissional em que eu me espelho, pelas boas conversas, pelas críticas construtivas e pela orientação.

Agradeço a Adail e Tchaicovsky, pelo excelente atendimento de sempre, pelo bom humor, pelas orientações e pela paciência em me ajudar nas horas que precisei.

Agradeço a Empresa Solaris Engenharia e seu proprietário Gustavo Formiga, por terem possibilitado a realização desse trabalho e paralelamente trabalhar com projetos fotovoltaicos.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram positivamente para a construção de quem sou hoje.

*“Mesmo desacreditado e ignorado por todos,
Não posso desistir,
Pois pra mim,
Vencer é nunca desistir.”*

Albert Einstein.

RESUMO

Com o aumento do consumo de energia elétrica, devido ao desenvolvimento econômico, crescimento populacional e desenvolvimento tecnológico, surge a necessidade de diversificar a Matriz Energética e conseqüentemente buscar novas fontes renováveis. A energia solar surge como uma alternativa complementar para a matriz energética brasileira, por ser viável economicamente, de fácil aquisição e instalação, valorização do imóvel, longa durabilidade do sistema gerador e também devido ao Brasil, em especial a região Nordeste, ter um grande potencial para o aproveitamento da energia solar. O trabalho desenvolvido mostra toda a metodologia para realizar um projeto fotovoltaico conectado à rede, analisando os equipamentos utilizados, geração de energia elétrica a partir do sistema projetado, bem como as normas que norteiam a fase de projeto. O sistema fotovoltaico é composto por 108 módulos com potência de 355 Wp cada, totalizando 38,34 kWp e um inversor com potência nominal de 36 kW. Um estudo de viabilidade econômica é apresentado ao final do trabalho, onde conclui-se que o projeto em questão é viável técnica e economicamente.

Palavras-chave: Alternativa Complementar, Energia Solar, Fonte renovável, Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

With the increase in electricity consumption, due to economic development, population growth and technological development, there is necessity of to diversify the energy matrix and, consequently, to evaluate new renewable sources. Solar energy appears as a complementary alternative to the Brazilian energy matrix, as it is economically viable, easy to purchase and install, guaranteed return of investment, property appreciation, long-lasting generator system and also due to Brazil, especially the Northeast region, have great potential for harnessing solar energy. The work developed shows all the methodology to carry out a photovoltaic project connected to the grid, analyzing the equipment used, generating electricity from the projected system, as well as the standards that guide the design phase. The photovoltaic system consists of 108 modules with a power of 355 kWp each, totaling 38,34 kWp and an inverter with a nominal power of 36 kW. An economic feasibility study is presented at the end of the work, where it is concluded that the presented project is technically and economically viable.

Keywords: Complementary Alternative, Solar Energy, Renewable Source, Economic Viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz energética mundial.	15
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira	15
Figura 3 - Célula de silício monocristalino e policristalino.....	18
Figura 4 - Módulos solares de filme fino utilizando (a) telureto de cádmio, (b) silício amorfo e (c) disseleneto de cobre, índio e gálio.	19
Figura 5 - Eficiências das gerações.	20
Figura 6 - Gráfico da corrente x tensão para diferentes valores de radiação.....	21
Figura 7 - Gráfico $i \times v$ para diferentes temperaturas do módulo.	22
Figura 8 - Curvas $i-v$ para módulos de 220 wp associados em série.....	23
Figura 9 - Curvas $i-v$ para módulos de 220 wp associados em paralelo.	23
Figura 10 - Diagrama simplificado para conexão do painel fotovoltaico via inversor. .	24
Figura 11 - Inversor central.	24
Figura 12 - Inversor <i>multistring</i>	25
Figura 13 - Inversor de string.	25
Figura 14 - Módulo c.a.	26
Figura 15 - Esquema de um SFCR.	27
Figura 16 - Localização da lgs confecções	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Etapas do processo de solicitação de acesso.	30
--------------------------------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados elétricos da entrada de serviço – unidades consumidoras ligadas ao sistema 380/220 v – responsabilidade da concessionária.....	31
Tabela 2 - Dados elétricos da entrada de serviço – unidades consumidoras ligadas ao sistema 380/220 v – responsabilidade do consumidor.	31
Tabela 3 - Valores de irradiação solar diário médio mensal no plano inclinado.....	34
Tabela 4 - Histórico de consumo mensal em kwh.....	36
Tabela 5 - Orçamento do sistema fotovoltaico.....	40
Tabela 6 - Fluxo de caixa do projeto em função das tarifas para cada ano.	41
Tabela 7 - VPL usando as taxas mínimas de atrativas a SELIC e poupança.	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício Amorfo
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de Cádmio
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
c-Si	Silício cristalino
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
HSP	Horas de Sol Pleno
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
m-Si	Silício Monocristalino
p-Si	Silício Policristalino
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede
SPPM	Seguidor de Ponto de Potência Máxima
STC	<i>Standard Test Condition</i>
TD	Taxa de Desempenho
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
OPV	Organic Photovoltaic (Células Fotovoltaicas orgânicas)
PQs	Pontos Quânticos
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
kWp	Quilo – Watt – Pico
kW	Quilo – Watt
kV	Quilo – Volt
<i>Payback</i>	Retorno

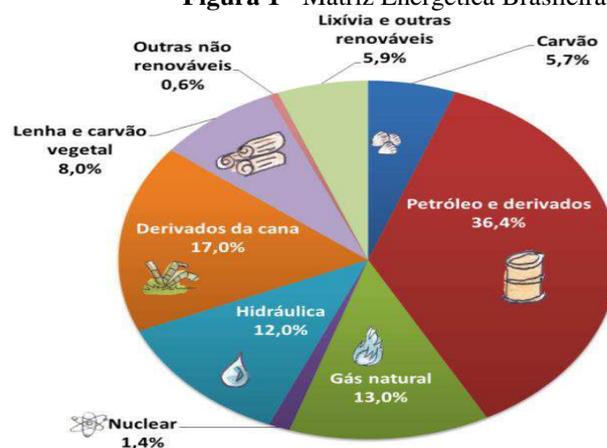
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	15
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	SISTEMA FOTOVOLTAICO	17
2.1.1	Células Fotovoltaicas	17
2.1.2	Módulos Fotovoltaicos	20
2.1.3	Painel Fotovoltaico	22
2.1.4	Inversor	24
2.2	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCR) OU <i>GRID-TIE</i>	26
2.3	RESOLUÇÃO E NORMAS REGULAMENTADORAS	28
2.3.1	Resolução Normativa ANEEL 687/2015	29
2.3.2	Norma de Distribuição Engenharia 0002	29
2.3.3	Norma de Distribuição Engenharia 0021	31
2.4	MÉTODOS FINANCEIROS DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS	31
2.4.1	Valor Presente Líquido (VPL)	32
2.4.2	Taxa Interna de Retorno (TIR)	32
2.4.3	<i>Payback</i>	33
3	DESENVOLVIMENTO	34
3.1	Projeto de Sistema Fotovoltaico	34
3.1.1	Avaliação do recurso Solar	34
3.1.2	Localização e Orientação	35
3.1.3	Levantamento do Consumo de Energia Elétrica	35
3.1.4	Dimensionamento do arranjo dos Módulos Fotovoltaicos	36
3.1.5	Dimensionamento do Inversor	37
4	ANÁLISE FINANCEIRA	40
4.1	DADOS FINANCEIROS DO CONSUMO DE ENERGIA	40
4.2	DADOS FINANCEIROS DO PROJETO	40
4.3	VIABILIDADE ECONÔMICA	39
5	CONCLUSÕES	43
	Referências	44
	ANEXO A – Ficha técnica do Módulo Fotovoltaico	47
	ANEXO B – Ficha técnica do Inversor Fotovoltaico	49

1 INTRODUÇÃO

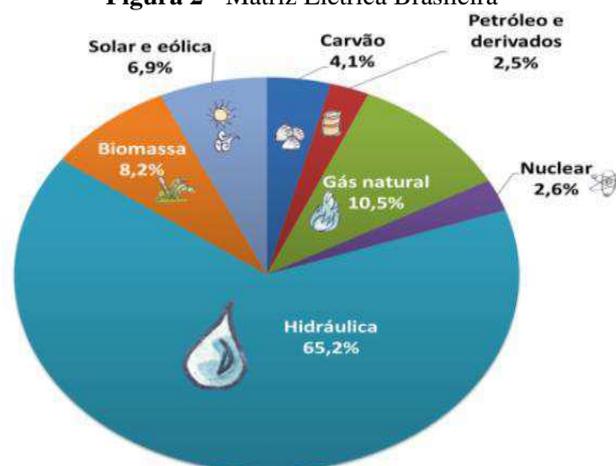
Tem-se observado desde as últimas décadas um maior esforço pela busca de fontes renováveis de energia, devido ao fato da matriz energética nacional ainda ter como principal fonte explorada o petróleo, que é uma fonte não renovável, entretanto, pode-se observar que há outras fontes que são amplamente como Gás natural, Lenha e carvão vegetal e derivados da cana conforme pode ser visualizado na Figura 1. Entretanto, reduzindo a abrangência e observando apenas o que concerne a matriz elétrica brasileira pode-se observar de acordo com a Figura 2 que a fonte mais utilizada ainda é a hidráulica, que neste caso, é criticada por causar impactos ambientais e sociais, devido à construção de grandes barragens. [1]

Figura 1 - Matriz Energética Brasileira.



Fonte: (BEN, 2018).

Figura 2 - Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: (BEN, 2018).

De acordo com a ANEEL, até junho de 2020 a potência instalada tendo como fonte de radiação solar era de 3 TW, enquanto que, em 2016 possuía 81 MW [2]. Esse crescimento da energia solar fotovoltaica resulta, de acordo com [3], da acentuada redução de preços dos componentes, como os módulos e inversores que compõem os sistemas fotovoltaicos, que reflete na competitividade das usinas solares frente à geração convencional.

Algumas das vantagens que o Brasil possui e tem colocado a energia solar fotovoltaica como uma excelente alternativa complementar para diversificar a matriz elétrica são: localização geográfica com incidência solar privilegiada (principal vantagem), marcos regulatórios estabelecidos pela ANEEL e incentivos para o financiamento dos sistemas solares. Além dessas vantagens, cabe ressaltar ainda que a geração distribuída proporciona benefícios ao sistema elétrico, dentre as quais estão a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão como também a melhoria do nível de tensão na rede elétrica no período de picos de consumo [4].

O projeto em estudo desse trabalho foi dimensionado e instalado de acordo com todas as normas técnicas da concessionária de energia COSERN com a finalidade de suprir a demanda energética da indústria, e apresenta-se como uma alternativa economicamente viável de fornecimento de energia elétrica.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é realizar um estudo de caso da implantação de uma usina de minigeração com fonte de geração solar fotovoltaica conectada à rede elétrica da Cosern, na cidade de Tenente Ananias-RN.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é estruturado da seguinte forma. O Capítulo 1 é a introdução, onde o mesmo aborda desde os dados históricos de crescimento de energia solar na matriz energética brasileira até como isso impacta o setor produtivo nacional, além disso apresenta-se também a justificativa do trabalho o objetivo do mesmo e a estrutura deste.

O Capítulo 2 é constituído de fundamentação teórica, ou seja, fora realizado um levantamento bibliográfico que aborda os principais aspectos sobre o tema tratado no decorrer deste trabalho.

No Capítulo 3 apresenta-se o desenvolvimento do projeto elétrico do sistema solar fotovoltaico, abordando conseqüentemente todo o processo de dimensionamento dos

componentes do sistema, desde quantidade de placas, inversores, cabos, dispositivos de proteção e etc.

No Capítulo 4 aborda a análise financeira do projeto, ou seja, realiza-se a verificação da viabilidade econômica da implantação do sistema fotovoltaico dimensionado no capítulo anterior.

Por fim, o Capítulo 5 é conclusivo e evidencia as considerações finais sobre o tema abordado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que se obtenha um maior domínio sobre o estudo de caso e melhor compreensão dos resultados obtidos, é essencial que se entenda alguns conceitos dos elementos básicos que estruturam um sistema fotovoltaico como também, descrições pormenorizadas dos componentes que fazem parte de um sistema fotovoltaico como, por exemplo, as células, módulos e inversores. E por fim é necessário que se conheça as normas que norteiam a elaboração de projetos e estudos de métodos financeiros de avaliação de projetos para a tomada de decisões que direcionem para projetos viáveis economicamente.

2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Segundo Goetze (2017) foi possível visualizar o efeito fotovoltaico pela primeira vez em 1839, pelo físico francês Edmond Becquerel que constatou que alguns materiais quando expostos a luz produziam uma pequena quantidade de corrente. Entretanto, apenas em 1876 que o primeiro dispositivo fora desenvolvido e somente em 1956 que a produção em larga escala fora iniciada pelas indústrias, estimulada pela corrida espacial que ocorria na época em virtude da Guerra Fria entre Estados Unidos da América e a União Soviética. Com isso e o surgimento das crises enérgicas subsequentes, o interesse nas aplicações de fontes de energias alternativas fora difundido e os sistemas fotovoltaicos foram ganhando espaço dentro do mercado comercial, entretanto, a princípio, devido o alto custo de produção, apenas uma parcela restrita da população possuía acesso ao mesmo, porém, nos dias atuais, com a redução dos valores dos equipamentos de um sistema fotovoltaico e os incentivos governamentais como a facilidade para financiamento, os sistemas estão cada vez mais em uso.

Com o intuito de melhorar a compreensão sobre as etapas de projeto de sistemas fotovoltaicos, é imprescindível um estudo sucinto dos componentes que o compõe. Nas próximas serão apresentadas as características desses componentes, que são: células fotovoltaicas, módulos fotovoltaicos, painel fotovoltaico e inversor. [5]

2.1.1 Células Fotovoltaicas

A célula fotovoltaica é o componente do sistema fotovoltaico que forma o módulo fotovoltaico e desempenha a função de captar a energia proveniente do sol e converte-la em energia elétrica, definido como efeito fotoelétrico. [6]

Devido ao efeito fotoelétrico, observado por Alexandre Edmond Becquerel em 1839, foram realizadas várias pesquisas nessa área, até que em 1883 surgiram as primeiras células solares, que eram compostas de Selênio. [7]

Atualmente são desenvolvidas várias tecnologias de fabricação, com destaque para as células fabricadas a partir do silício cristalino que domina o mercado mundial, cuja marca de eficiência atingiu 25% no final da década de 90. [7]

- Células fotovoltaicas de primeira geração

Essas células dominam o mercado atualmente, por possuir a melhor eficiência, ser uma tecnologia confiável e consolidada [8]. O Silício é o principal elemento dessa geração, que possui duas tecnologias de fabricação: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). É válido ressaltar que, além da alta eficiência da utilização do silício para produção, o mesmo também é amplamente adotado pelo fato de ser uma matéria-prima de alta acessibilidade e baixo custo.

A estrutura da célula de silício monocristalino representada na Figura 3, é uniforme, pois se trata de um único cristal, e devido a esse fato possui eficiência elevada, porque não existem barreiras como obstáculos durante a condução dos elétrons. Essas células passam pelo procedimento de dopagem, necessário para tornar as células eficientes, que consiste na introdução de impurezas no semiconductor com o intuito de alterar suas propriedades elétricas. A desvantagem dessa célula é o alto custo para fabrica-la, devido à grande quantidade de energia e material necessários. [6]

A estrutura da célula de silício policristalino vista na Figura 3, não é uniforme, pois é formado a partir da fusão de silício em moldes, formando uma estrutura de múltiplos cristais com superfícies de separação entre os cristais. [5] Assim a estrutura dessa célula possui barreiras e conseqüentemente um fluxo de elétrons menos eficiente do que a célula de silício monocristalino. A célula de silício policristalino possui a vantagem de ter um baixo custo para produzi-las, devido ao fato de ser necessária uma menor quantidade de energia envolvida no processo. [8]

Figura 3 - Célula de silício monocristalino e policristalino



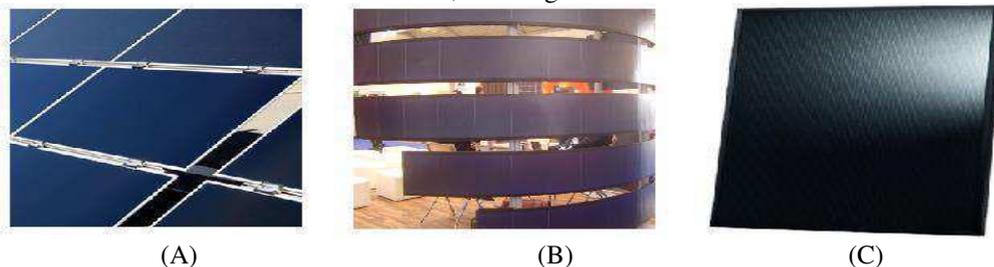
Fonte: (Solar-Energia).

Destarte, analisando comparativamente é perceptível que as células policristalinas possuem uma eficiência inferior a eficiência das células monocristalinas baseado no nível de impurezas existentes em cada tecnologia, entretanto, o processo de fabricação das mesmas é mais barato, trazendo assim uma boa relação custo benefício.

- Células fotovoltaicas de segunda geração

Essa geração é caracterizada por três tecnologias de processos de fabricação, mostrado na Figura 4, utilizando os seguintes materiais de filmes finos, silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS), índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). [8] Essas células possuem a vantagem de necessitar de menor energia gasta na produção como também serem mais atrativos em projetos arquitetônicos por apresentarem melhor aparência. [10] Entretanto, com um processo de produção deletério ao meio ambiente, como também baixa disponibilidade de matéria prima, curta vida útil e baixo rendimento, fazem com que essas células não sejam atrativas ao comércio. [11]

Figura 4 - Módulos solares de filme fino utilizando (a) telureto de cádmio, (b) silício amorfo e (c) disseleneto de cobre, índio e gálio.

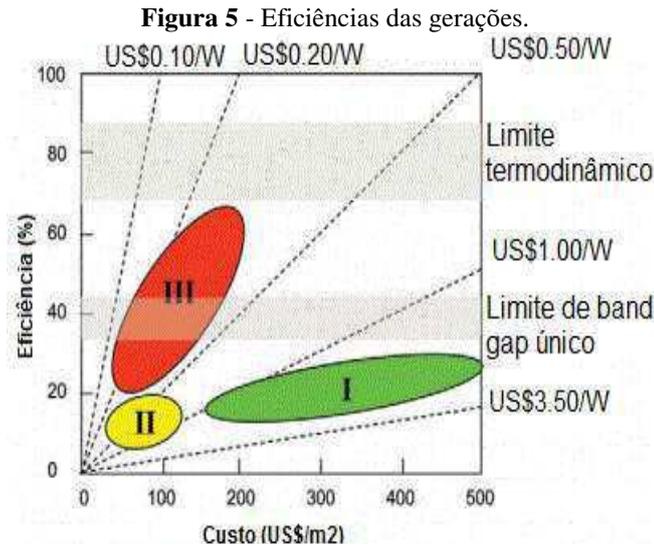


Fonte: (PORTAL SOLAR).

- Células fotovoltaicas de terceira geração

Essa geração de células fotovoltaicas possibilita uma maior eficiência do que as células baseadas em um único band-gap, além de possuir baixo custo/watt e empregar matéria-prima abundante que não são perniciosos ao meio ambiente. [13] Nessa geração são englobadas as tecnologias baseadas em materiais orgânicos (OPV), pontos quânticos (PQs), células tandem/multijunção, células de portadores quentes (*hot carriers*), células solares sensibilizadas por corantes (DSSC) e tecnologias de *upconversion*. [13]

Analisando a Figura 5, onde são mostrados as eficiências e custos das gerações, pode-se perceber que a segunda geração possui um custo menor do que a primeira geração, porém apresenta menor eficiência. Já a terceira geração possui as características mais desejáveis para o comércio, que se caracteriza por uma alta eficiência e baixo custo.



Fonte: (DE OLIVEIRA SOBRINHO, 2016).

2.1.2 Módulos Fotovoltaicos

Como a potência de uma única célula é bem baixa, em torno de 2 W, é necessário agrupá-las em série/paralelo para formar o módulo fotovoltaico, como mostrado na figura 4, fornecendo níveis de tensão adequados, como também uma valiosa proteção mecânica. Logo, pode-se definir que módulos fotovoltaicos são elementos constituídos por um conglomerado de células que são responsáveis por captar a luz do sol e convertê-la em energia elétrica fotovoltaica [8]

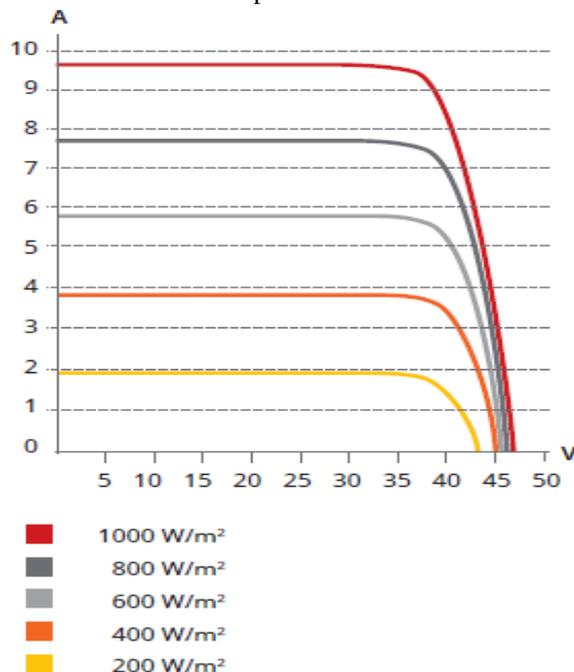
Os módulos fotovoltaicos são apresentados, geralmente no comércio, por sua potência-pico (Wp) e pelos modelos de células que os constituem. Mas algumas características são importantes para o correto dimensionamento do sistema fotovoltaico, que são:

- Tensão de Máxima Potência (V_{mpp}): Maior tensão atingida pelo módulo, em seu ponto de máxima potência, nas condições padrões de teste (STC – *Standard Test Condition*);
- Tensão em Circuito Aberto (V_{oc}): máxima tensão obtida nos terminais do módulo, em vazio (sem a presença de carga);
- Corrente de Máxima Potência (I_{oc}): Corrente máxima fornecida pelo módulo a uma carga, em condições padrões de teste;
- Corrente de Curto Circuito (I_{sc}): máxima corrente fornecida pelo módulo, quando seus terminais estão em curto-circuito;
- Potência Máxima (P_{max}): é o produto dos valores máximos de corrente gerada por um módulo (que varia de zero a I_{sc}) e a tensão (que varia de zero a V_{oc});

- Eficiência: é a razão entre a potência elétrica máxima gerada e a irradiância solar;
- Coeficientes de Temperatura: indicam como as grandezas, tensão máxima, corrente máxima e potência máxima variam com a temperatura;
- Coeficientes de Radiação: indicam como a corrente de curto-circuito se altera com a variação de radiação;
- Fator de Forma (FF): é a razão entre a máxima potência e o produto $V_{oc} \times I_{sc}$. Os valores do fator de forma variam entre 0,7 e 0,85.

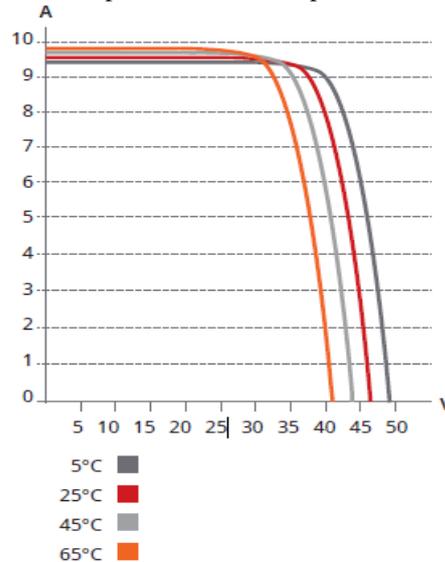
Na Figura 6 são mostradas as curvas características dos módulos de acordo com a razão entre potência gerada e área. São mostrados valores diferentes para essa razão que são: 1000 W/m^2 , 800 W/m^2 , 600 W/m^2 , 400 W/m^2 e 200 W/m^2 . Analisando a Figura 5, verifica-se que a corrente elétrica do módulo é fortemente influenciada pela radiação solar, pois com o aumento dela, a corrente também se eleva e conseqüentemente a potência gerada pelo modo também aumenta.

Figura 6 - Gráfico da corrente x tensão para diferentes valores de radiação



Como os módulos fotovoltaicos apresentam diferentes curvas características de corrente \times tensão, verifica-se pela análise da Figura 7, que com a diminuição da temperatura de operação dos módulos fotovoltaicos, a tensão aumenta e como resultado altera-se também a potência gerada pelos módulos.

Figura 7 - Gráfico IxV para diferentes temperaturas do módulo.



Fonte: (SICESSOLAR).

2.1.3 Painel Fotovoltaico

Com base no conceito supramencionado, pode-se então observar que o painel fotovoltaico possui uma potência elevada que se adequa aos diversos projetos, pois os módulos são agrupados em série ou paralelo, dependendo da tensão e corrente desejadas, e obtendo assim a potência que o projetista escolheu. É importante ressaltar que existem fatores que influenciam as características elétricas destes painéis e entre estes tem-se a intensidade luminosa e a temperatura das células, enquanto o aumento da intensidade luminosa aumenta linearmente a corrente produzida no módulo, o aumento da temperatura surte um efeito contrário a este, diminuindo assim a eficiência do painel.

- **Módulos fotovoltaicos conectados em série**

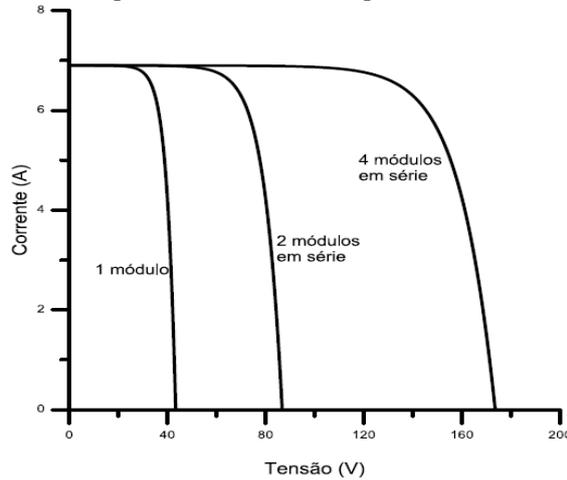
A conexão é feita do terminal positivo de um módulo ao terminal negativo do outro, para se obter a conexão em série. Nesse modo de conexão, as tensões são somadas e a corrente não se altera, assim temos:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (1)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (2)$$

A Figura 8 mostra o resultado da conexão dos módulos em série, através da curva característica $I \times V$. Para efeito de ilustração, cada módulo tem 220 Wp, $I_{sc} = 6,9$ A e $V_{oc} = 43,4$ V. O conjunto resultante de quatro módulos conectados em série tem potência de 880 Wp, $I_{sc} = 6,9$ A e $V_{oc} = 173,6$ V. [8].

Figura 8 - Curvas I-V para módulos de 220 wp associados em série.



Fonte(PINHO, 2014).

- **Módulos fotovoltaicos conectados em paralelo**

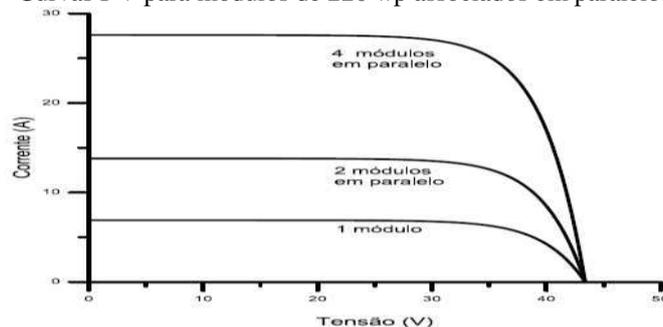
Nesse modo de conexão, os terminais de todos os módulos são conectados entre si, e da mesma forma faz-se com os terminais negativos de todos os módulos. Conseqüentemente na conexão em paralelo, temos a soma das correntes sem alteração da tensão, ou seja:

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (3)$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (4)$$

Na Figura 9 podemos perceber o resultado das somas das correntes em módulos idênticos conectados em paralelo, através da curva característica I-V, para módulos com as seguintes características: Potência Nominal = 220 Wp, $I_{sc} = 6,9$ A, $V_{oc} = 43,4$ V. Verifica-se facilmente que a conexão de quatro módulos em paralelo resulta nas seguintes características de conjunto: Potência Nominal = 880 Wp, $I_{sc} = 27,6$ A, $V_{oc} = 43,4$ V.

Figura 9 - Curvas I-V para módulos de 220 wp associados em paralelo.

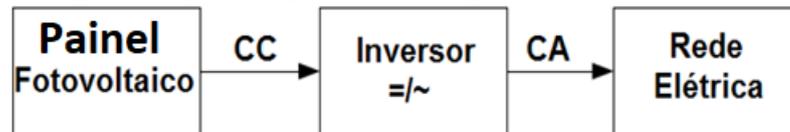


Fonte: (PINHO, 2014)

2.1.4 Inversor

O inversor é o componente do sistema fotovoltaico que realiza a conversão de energia elétrica em corrente contínua, gerada pelo painel fotovoltaico, para energia elétrica em corrente alternada, servindo de elo entre o gerador fotovoltaico e a rede elétrica, por isso a tensão do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede [15]. A Figura 10 representa um diagrama simplificado da conexão do painel fotovoltaico com a rede elétrica via inversor.

Figura 10 - Diagrama simplificado para conexão do painel fotovoltaico via inversor.



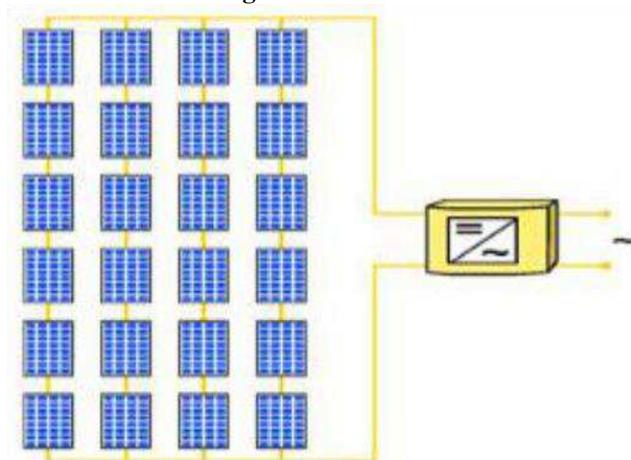
Fonte: (H. A. BARATA, 2017)

Além de converter corrente contínua em corrente alternada, de acordo com os requisitos técnicos e de segurança que são estipulados para a ligação à rede, o inversor tem o potencial de ajustar o ponto operacional ao ponto de máxima potência do painel fotovoltaico, registra os dados operacionais e sinalização, como também fornece proteção AC e DC (proteção de polaridade, proteção contra sobrecargas e sobre tensões e proteção da interligação com a rede). [15]

Existem vários tipos de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados a rede, uma classificação possível é [8]:

- Inversores centrais (Figura 11): inversores trifásicos de grande porte com potência numa faixa que vai de centenas de kWp até MWp, bastante explorados em usinas fotovoltaicas.

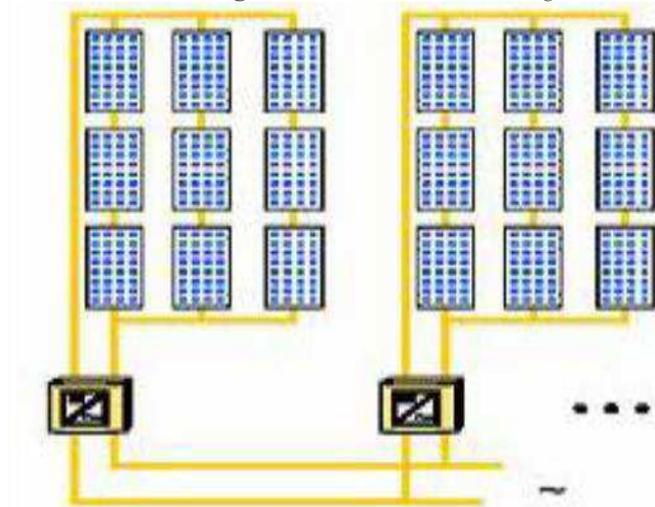
Figura 11 - Inversor central.



Fonte: (H. A. BARATA, 2017).

- Inversor *Multistring* (Figura 12): inversores dotados de várias entradas independentes com seguidores de máxima potência para conexão de *strings* (fileiras) de módulos. São adequados a instalações urbanas (telhados e fachadas) nas quais cada *string* pode estar submetida a diferentes condições de irradiância e/ou sombreamento.

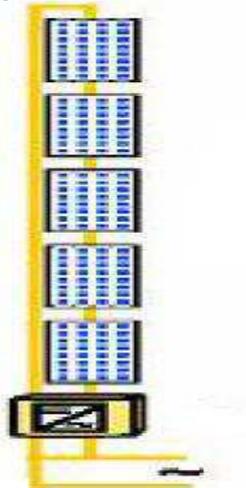
Figura 12 - Inversor *multistring*.



Fonte: (H. A. BARATA, 2017).

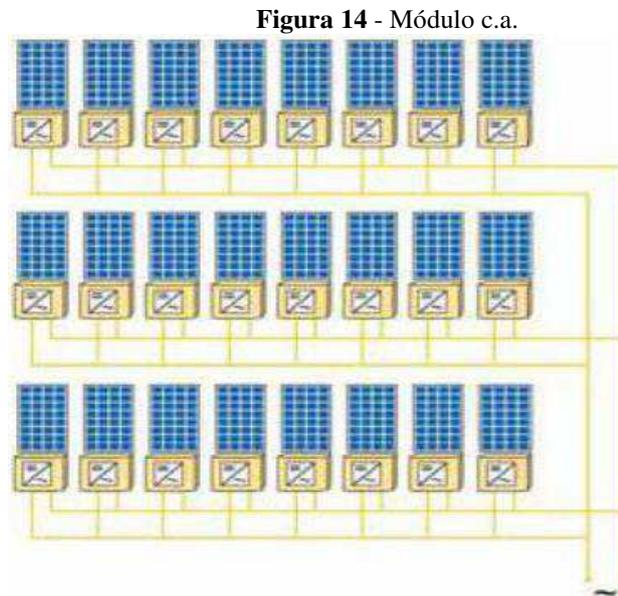
- Inversor de *String* (Figura 13): inversor monofásico dotado de apenas um seguidor de máxima potência, adequado à instalação de microgeração (até 10 kWp).

Figura 13 - Inversor de string.



Fonte: (H. A. BARATA, 2017).

- Módulo c.a (Figura 14): módulo solar que possui um micro inversor associado.



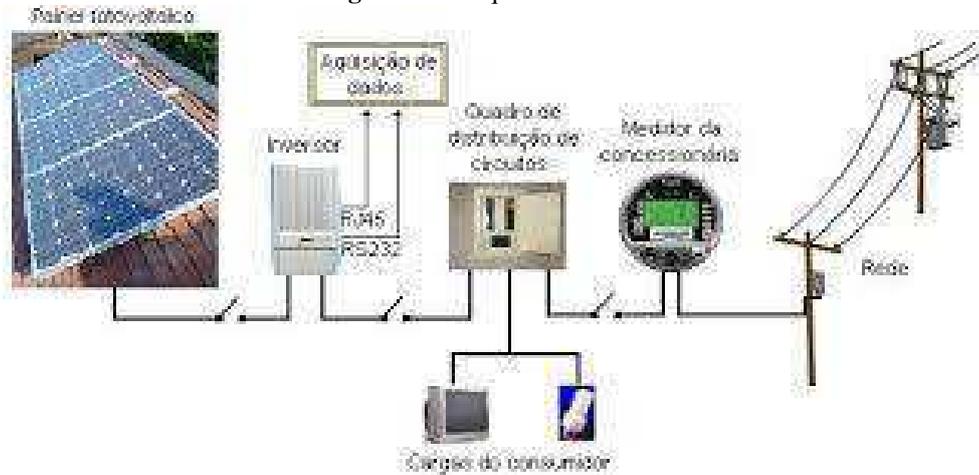
Fonte: (H. A. BARATA, 2017).

2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCR) OU *GRID-TIE*.

Desde que seja bem dimensionado, projetado e isento de falhas, a energia fotovoltaica pode ser empregada e aproveitada para as várias aplicações. Por isso, é de praxe classificar o tipo de conexão a que se destina o sistema fotovoltaico em autônomo, híbrido e conectado a rede. O foco desse trabalho é o sistema fotovoltaico conectado a rede, que consiste na conexão do sistema fotovoltaico com a rede elétrica para o fornecimento de energia elétrica complementar à dos geradores de base, como termoeletrônicos e hidroeletrônicos. [18]

É ilustrado na Figura 15 o esquema de como os componentes do SFCR estão conectados. A energia elétrica gerada pelas placas durante o dia, na forma de corrente contínua, passa pelo inversor onde é convertida para corrente alternada e em seguida é injetado na unidade consumidora. Uma vez que a carga não consome toda energia gerada pelo painel fotovoltaico, a energia não consumida é injetada na rede elétrica da concessionária local, gerando crédito para o consumidor que é usado para abonar a energia elétrica consumida a noite pela rede de distribuição, ou pode ser compensado em outra propriedade do consumidor. Quando o consumo é maior que a energia gerada, o consumidor será suprido também pela concessionária local.

Figura 15 - Esquema de um SFCR.



Fonte: (NEOSOLAR)

As vantagens da geração distribuída podem ser divididas em aspectos econômicos, aspectos sociais e aspectos técnicos. [19]

- Aspectos econômicos:
 - Regulamentações, incentivos fiscais, tributários e isenções de alguns impostos bem como através do financiamento de bancos;
 - Sistema de compensação de energia que gera créditos para o consumidor;
 - Redução nos custos de geração, transmissão e distribuição.
- Aspectos Sociais:
 - Minimização dos impactos ambientais no entorno, segundo pesquisadores, relacionado aos impactos ambientais da geração centralizada;
 - Geração de Emprego, pois impulsiona a abertura de pequenas empresas especializadas em montagem, manutenção e limpeza dos sistemas fotovoltaicos;
 - Alcance da energia em áreas remotas;
- Aspectos Técnicos:
 - Redução do fornecimento de energia na rede durante os picos de carga da tarde;

- Diminuição das perdas no sistema elétrico, pois como a energia é gerada próxima a carga, não há necessidade de grandes linhas de transmissão;
- Opera em pequena escala e permite o controle e monitoramento de forma descentralizada do sistema elétrico, fornecendo uma energia mais confiável e estável;

Já os pontos negativos podem ser divididos em aspectos econômicos e aspectos sociais.

- Aspectos econômicos:
 - Custos elevados de distribuição e de redes inteligentes;
- Aspectos técnicos:
 - As operadoras do sistema elétrico não conseguem controlar a flexibilidade do sistema para o fornecimento de acordo com a demanda e conseqüentemente comprometendo a qualidade, estabilidade e confiabilidade esperada;
 - Fluxo de potência reverso que pode interferir na funcionalidade do sistema de distribuição colocando em risco os equipamentos bem como o fornecimento de energia adequado;
 - Ilhamento, que ocorre quando parte do sistema elétrico de energia que deveria estar desligado para manutenção ou outra razão, recebe cargas da geração distribuída, colocando em risco os trabalhadores do sistema elétrico.

2.3 RESOLUÇÃO E NORMAS REGULAMENTADORAS.

Devido ao rápido e grande desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos, surgiu a necessidade de elaboração de normas técnicas e regulamentação desse setor, com a finalidade de garantir a qualidade das instalações e conexões à rede elétrica de distribuição, como também garantir o compromisso com a segurança dos trabalhadores e adequado fornecimento de energia elétrica aos consumidores. As Normas Técnicas são documentos que são construídos a partir de um consenso que possui aprovação por um órgão reconhecido que fornece regras e diretrizes para algumas atividades objetivando à obtenção de um grau ótimo de ordenação dentro de um determinado contexto. (ABNT, 2020) Cabe ainda salientar que as

normas e regulamentações são instrumentos importantes para guiar o correto dimensionamento e projeto dos sistemas fotovoltaicos. Neste tópico serão apresentadas algumas normas utilizadas no projeto em estudo desse trabalho.

2.3.1 Resolução Normativa ANEEL 687/2015

Com a finalidade de mitigar os custos e o tempo para a conexão da micro e minigeração, programar o sistema de compensação de energia elétrica de acordo com as condições gerais de fornecimento, estender o público alvo e melhorar as informações na fatura de energia elétrica, a ANEEL realizou a Audiência Pública nº 26/2015 que resultou na publicação da Resolução Normativa – REN nº 687/2015, a qual revisou a REN nº 482/2012 e a seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. [4]

Nessa Resolução é definida que microgeração distribuída são centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilizam cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL. Já para a minigeração distribuída são consideradas as centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes híbridas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada.

Com relação aos procedimentos necessários para se conectar a micro ou minigeração distribuída à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras que simplificam o processo: foram criados formulários padrões para a realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW que é de 34 dias.

Caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um “crédito de energia” que pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade, com validade de 60 meses. Nesse caso, para consumidores do grupo B, o consumidor ainda irá arcar com o pagamento referente ao custo de disponibilidade (valor em reais equivalente a 30 kWh – monofásico, 50 kWh – bifásico ou 100 kWh – trifásico). Já para consumidores do grupo B, a parcela de energia da fatura pode ser zerada (caso a quantidade de energia injetada seja maior ou igual à quantidade de energia consumida), sendo que a parcela correspondente à demanda contratada será faturada normalmente.

2.3.2 Norma de Distribuição Engenharia 0002

Essa norma tem como objetivo proporcionar subsídios para as orientações básicas e os requisitos técnicos para as novas conexões ou alterações de conexões existentes, de unidades

consumidoras que façam a adesão ao sistema de compensação de energia elétrica com microgeração distribuída, cabendo aos órgãos de mercado, planejamento, operação, automação, proteção, atendimento e ligação, a responsabilidade de cumprir as disposições desta norma.

No tópico 3 da seção 4 da Norma de Distribuição Engenharia 0002, que trata dos procedimentos de acesso, que estão detalhados no Módulo 3 do PRODIST, que consiste nas várias etapas necessárias para a obtenção de acesso ao sistema de distribuição. Essas etapas, seus responsáveis e os prazos são descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Etapas do processo de solicitação de acesso.

ETAPA	Ação	RESPONSÁVEL	PRAZO
1°. Solicitação de acesso	(a) Formalização da solicitação de acesso, com o encaminhamento de documentação.	Acessante	-
	(b) Recebimento da solicitação de acesso.	Distribuidora	-
	(c) Solução de pendências relativas às informações solicitadas na Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.	Acessante	-
2°. Parecer de acesso	(a) Emissão de parecer com a definição das condições de acesso.	Distribuidora	Quando não houver necessidade de execução de obras de melhoria ou reforço do sistema de distribuição, até 15 (quinze) dias após as etapas 1°(b) ou 1°(c). Quando houver necessidade de execução de obras de melhoria ou reforço no sistema de distribuição, até 30 (trinta) dias após as etapas 1°(b) ou 1°(c).
3°. Implantação da Conexão	(a) Solicitação de vistoria	Acessante	120 (cento e vinte) dias após a etapa 2°(a)
	(b) Realização de vistoria.	Distribuidora	Até 7 (sete) dias após a etapa 3°(a)
	(c) Entrega para acessante do Relatório de Vistoria se houver Pendências.	Distribuidora	Até 5 (cinco) dias após a etapa 3°(b)
4°. Aprovação do Ponto de conexão	(a) Adequação das condicionantes do Relatório de Vistoria.	Acessante	Definido pelo acessante.
	(b) Aprovação do ponto de conexão, adequação do sistema de medição e início do sistema de compensação de energia.	Distribuidora	Até 7 (sete) dias após a etapa 3°(b), quando não forem encontradas pendências.
5°. Contratos	Acordo Operativo	Acessante e Distribuidora	Acordo operativo até a etapa 4°(b) ou Relacionamento operacional até a etapa 2°(a).

Fonte: [24]

2.3.3 Norma de Distribuição Engenharia 0021

Essa norma trata do fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição quando a unidade consumidora tiver carga instalada igual ou inferior a 75 kW e com tensão secundária de distribuição, com valores padronizados inferiores a 2,3 kV. As tensões de fornecimento e os tipos de ligação para unidades consumidoras de baixa tensão na área de concessão da distribuidora são padronizados conforme a Tabela 2 e Tabela 3 [25].

Tabela 1 - Dados elétricos da entrada de serviço – unidades consumidoras ligadas ao sistema 380/220 v – responsabilidade da concessionária.

Tipo da ligação (Sistema 220-127V)	Carga Instalada (kW)	Demanda (kVA)	Potência do maior motor/solda motor (cV)			Responsabilidade da Concessionária			
			FN	2F	3F	Ramal de Ligação			Medidor
						Aéreo	Subterrâneo		
						Condutor (mm ²)	Condutor de Cobre PVC 70 (mm ²)		
Monofásica	0 - 8	-	3	-	-	6	6		Eletrônico (15-100A)
	8,1 - 15	-	3	-	-	10	16		
Trifásica	Até 75	0 - 32	3	5	20	10	16		Eletrônico (15 – 120A)
		32,1 - 42	5	10	30	16	16		
		42,1 - 60	7,5	12	30	35	35		
		60,1 - 75	7,5	12	30	35	50		Medidor 200 A

Fonte: [25]

Tabela 2 - Dados elétricos da entrada de serviço – unidades consumidoras ligadas ao sistema 380/220 v – responsabilidade do consumidor.

Tipo da ligação (Sistema 380-220V)	Carga Instalada (kW)	Demanda (kVA)	Potência do maior motor(cV)			Responsabilidade do Consumidor							
			FN	2F	3F	Padrão de Entrada							
						Ramal de Distribuição							
						Eletroduto		Condutor de Cobre PVC 70 (mm ²)		Disjuntor (A)	Aterramento		Caixa de Medição
PVC (mm)	Aço (mm)	Subt.	Embut.	Condutor de cobre	Eletrodut o PVC (mm)								
Monofásica	0 - 8	-	3	-	-	25	25	6	6	40	6	20	Monofásica
	8,1 - 15	-	3	-	-	25	25	16	16	70	16	20	
Trifásico	Até 75	0 - 32	5	20	40	32	10	10	50	10	20	Polifásica	
		32,1-42	5	30	40	32	16	16	70	16	20		
		42,1-60	7,5	30	40	32	35	35	100	16	20		
		60,1-75	7,5	30	50	40	50	50	125	25	20	Caixa Metálica	

Fonte: [25]

2.4 MÉTODOS FINANCEIROS DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS.

Nesta seção serão explanados métodos de avaliação de projetos mais usados para medir a capacidade de um projeto em gerar lucro, como também analisar se o projeto é viável economicamente. Os métodos mais conhecidos são: valor presente líquido, taxa interna de retorno e *payback*.

O método Valor Presente Líquido foi escolhido para avaliação do projeto com a finalidade de saber o ganho com o investimento inicial, como também, devido ao inerente ganho patrimonial gerado pela implantação do sistema, ou seja, além do retorno financeiro gerado pela economia de energia, o imóvel tem uma valorização significativa.

A Taxa Interna de Retorno e *Payback* foram também escolhidos, pois o investimento em energia solar pode ser comparado a ativos do mercado financeiro, dado que envolve um dispêndio de capital que tem um retorno financeiro em um período, e se deseja conhecer em quanto tempo se obtém esse retorno e qual sua taxa.

2.4.1 Valor Presente Líquido (VPL).

Esse método consiste em transportar todos os fluxos de capitais para o momento presente e efetuar a sua soma algébrica, com a observação de que todos os benefícios apresentarão sinais positivos e todos os custos serão negativos [26]. Abaixo está a fórmula que define o VPL:

$$VPL_j = -I + \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (5)$$

Onde:

VPL_j : é o valor presente líquido de um fluxo de caixa j ;

F_n : é a soma dos valores do fluxo de caixa relativo ao período de tempo n ;

I : investimento inicial;

N : é o número total de períodos para o cálculo e juros;

i : é a taxa de juros comparativa.

Depois de aplicar a equação 5 ao problema, faz-se uma análise temporal e comparam-se os fluxos de caixas distintos. Um valor positivo para o VPL significa ganhos e o projeto é economicamente viável, se for negativo indica perdas e o projeto é inviável, e um VPL nulo indica uma situação indiferente (benefícios e custos se anulam). A melhor alternativa será aquela com maior VPL.

2.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR).

A taxa interna de retorno (TIR) é o valor da taxa de juros que torna zero o valor presente líquido de um fluxo de caixa de capitais. Através de sua análise devem-se aceitar situações na qual a relação entre a taxa mínima de atratividade (taxa de juros TMA) e a TIR garanta um VPL positivo [26]. Ou seja, se $TIR > TMA$, tem-se um projeto economicamente

viável, caso contrário, o projeto é inviável e não deverá ser aceito. Caso a $TIR = TMA$, o projeto é indiferente, pois nem criará nem destruirá valor para a empresa [26].

2.4.3 Payback.

O método payback mostra o tempo necessário para recuperar o investimento inicial do projeto. Para se tomar a melhor decisão, faz-se a comparação com o tempo estimado pela gerência da empresa, denominado de tempo máximo tolerado (TMT) [26]. Se o Payback for menor do que o TMT, o projeto deve ser aceito, caso contrário, não deve ser aceito [26].

3 DESENVOLVIMENTO

Neste Capítulo é desenvolvido todo o projeto elaborado, com o intuito de especificar as características construtivas de uma Usina de Minigeração para conexão ao sistema de baixa tensão da Cosern, denominada de L G S Confeções LTDA, localizada em Tenente Ananias, RN, baseada nas normas e resoluções já descritas no Capítulo 2. Trata-se de uma minigeração com fonte de geração solar fotovoltaica com potência nominal de 38,34 kWp.

3.1 PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

Neste tópico é realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico e seus equipamentos, com o objetivo de atender a demanda da LGS Confeções. Esse dimensionamento abarca: orientação dos módulos, disponibilidade de área, disponibilidade do recurso solar, demanda a ser atendida, consumo de energia elétrica, dimensionamento do arranjo dos módulos fotovoltaicos e dimensionamento do inversor [8].

3.1.1 Avaliação do recurso Solar

A instalação da UC, mostrada da Figura 16, encontra-se localizada sob as coordenadas de Latitude $6^{\circ}27'53,6''S$ e Longitude $38^{\circ}10'58,3''W$ a uma altitude de 302 m.

Figura 16 - Localização da lgs confecções.



Fonte: (MEMORIAL, 2019)

Utilizando os dados do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica de S. Brito (CRESESB), observaram-se os valores de Irradiação Solar diário médio mensal, que são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de irradiação solar diário médio mensal no plano inclinado.

	Jan	Fev.	Mar	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set	Out	Nov.	Dez	Média
Irradiância Solar Média (kWh/m ² .dia)	5,86	5,90	6,05	5,85	5,39	5,16	5,49	6,21	6,52	6,52	6,48	5,96	5,95

Fonte: (CRESEBCEPEL)

Com os dados da Tabela 3 obtêm-se a média anual de Irradiância Solar, e em seguida calcula-se as horas de sol pleno (HSP), pela Equação 6:

$$HSP = \frac{\text{irradiância} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot dia} \right]}{1 \left[\frac{kW}{m^2} \right]} = \frac{5,95 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot dia} \right]}{1 \left[\frac{kW}{m^2} \right]} = 5,95 \left[\frac{h}{dia} \right] \quad (6)$$

3.1.2 Localização e Orientação

A usina fotovoltaica foi instalada sobre uma estrutura metálica e em um local que permite o máximo de eficiência dos módulos, com a prevenção de que não ocorra sombreamento no decorrer do dia. O ângulo de inclinação dos módulos está de acordo com a queda d'água a partir da cumeeira da edificação, que está em torno do ângulo de latitude (entre 6° e 9°) do Município de Tenente Ananias-RN.

3.1.3 Levantamento do Consumo de Energia Elétrica

O consumo médio mensal (C_{mm}) para 12 meses analisados (Tabela 4) é dado pela média aritmética do consumo total, mostrado na Equação 7:

$$C_{mm} = \frac{\Sigma(\text{consumo total})}{12} = \frac{36.040}{12} = 3.003 \frac{kWh}{mês}. \quad (7)$$

Como o cliente optou por suprir o consumo de mais 3 residências, adicionou um consumo extra de 2.139,8 kWh/mês, obtendo $C_{mm} = 5.132,8 \frac{kWh}{mês}$. Assim, o consumo médio diário anual (C_{mda}) é dado pela razão do consumo médio mensal por trinta, assim temos:

$$C_{mda} = \frac{5.132,8}{30} = 171,1 \text{ kWh/dia}. \quad (8)$$

Tabela 4 - Histórico de consumo mensal em kWh.

Mês	Consumo (kWh)
Ago	3170
Set	3118
Out	3489
Nov	3015
Dez	3133
Jan	3063
Fev	3553
Mar	2148
Abr	3228
Mai	2852
Jun	2615
Jul	2656

Fonte: (Próprio autor, 2020).

3.1.4 Dimensionamento do arranjo dos Módulos Fotovoltaicos.

Antes de calcular a potência de pico a ser gerada pelos módulos fotovoltaicos, precisamos definir a taxa de desempenho, que é a razão entre o desempenho real do sistema e o desempenho máximo teórico possível, essa taxa leva em consideração todas as perdas envolvidas na geração como perdas por queda de tensão, perdas devido ao acúmulo de poeira nos painéis e resistência dos conectores e cabos entre outros [8]. Para o cálculo da potência de pico ($P_{(pico)}$), adotou-se uma taxa de desempenho (TD) de 75% e usando o consumo médio diário anual e horas de sol pleno (HSP), temos que:

$$P_{(pico)} = \frac{C_{mda}/TD}{HSP} = \frac{171,1/0,75}{5,95} = 38,34 \text{ kWp}. \quad (9)$$

Agora, que temos a informação da potência de pico do painel fotovoltaico, determina-se o modelo dos módulos fotovoltaicos, sendo os mesmos do fabricante CANADIAN Solar, modelo MAX POWER CS3U – 355P com uma potência de 355 W. O datasheet do módulo encontra-se no anexo A. Para a potência de pico ($P_{(pico)}$) encontrada e a potência do módulo ($P_{módulo}$) escolhido, foi calculado a quantidade ($Q_{(modulos)}$) de módulos necessários, dado pela equação 10:

$$Q_{(modulos)} = \frac{P_{(pico)}}{P_{módulo}} = \frac{38.340 \text{ WP}}{355} = 108 \text{ módulos}. \quad (10)$$

3.1.5 Dimensionamento do Inversor.

Considerando os cálculos feitos anteriormente, o inversor escolhido, que atende aos requisitos do projeto, foi do fabricante SUNGORW, modelo SG36KTL-M, com potência nominal de 36 kWp.

Em seguida, deve-se calcular o Fator de Dimensionamento de Inversor (FDI), que é a razão entre a potência nominal CA do inversor ($P_{nom.CA}$) e a potência de pico do painel fotovoltaico ($P_{(pico)}$), conforme equação 11 a seguir:

$$FDI = \frac{36 \text{ kWp}}{38,34 \text{ kWp}} = 0,94. \quad (11)$$

Como o FDI calculado está entre 0,75 e 0,85, logo a potência do inversor atende as recomendações dos fabricantes e instaladores [8].

Para verificar o número máximo de módulos em série que podem ser conectados a uma string, precisa-se determinar a máxima tensão em circuito aberto de um módulo fotovoltaico na menor temperatura de operação prevista [8], dado pela equação 12:

$$V_{circ.abertoTmin} = VocSTC \times (1 + \beta(Tmin - 25)) \quad (12)$$

Onde,

- VocSTC – tensão de circuito aberto nas condições de teste padrão;
- β – coeficiente de variação da tensão de circuito aberto com a temperatura;
- Tmin – temperatura mínima.

Consultando o datasheet dos módulos, que se encontra em anexo, esses valores são:

- VocSTC = 46,8 V ;
- $\beta = -0,29\%/^{\circ}\text{C}$;
- Tmin = 12,5°C.

De modo que, inserindo esses valores na equação 12, obtemos:

$$V_{cir.abertoTmin} = 48,50 \text{ V.}$$

Assim, considerando a máxima tensão CC suportada pela entrada do inversor, e usando a equação 13, podemos encontrar o número máximo de módulos que podem ser conectados em série:

$$(N^{\circ}\text{módulos_série}) \times (V_{circ.abertoTmin}) < V_{cc.máx} \quad (13)$$

Onde,

- Vcc.máx – máxima tensão CC suportada pela entrada do inversor, obtido no datasheet do inversor, que é 1100 V.

Logo, pela equação 13, temos que:

$$(N^{\circ}\text{módulos_série}) \times (V_{\text{circ.abertoTmin}}) < V_{\text{cc.máx}}$$

$$(N^{\circ}\text{módulos_série}) \times (48,50) < 1100$$

$$(N^{\circ}\text{módulos_série}) < 1100/48,50$$

$$(N^{\circ}\text{módulos_série}) < 22 \text{ módulos.}$$

Agora determina-se pelas equações 14 e 15, as tensões de máxima potência para a maior e menor temperatura, como segue:

$$V_{mpTmáx} = V_{mp} \times (1 + \beta(T_{op} + T_{máx} - 25)) \quad (14)$$

Onde,

- V_{mp} – tensão em operação para máxima potência;
- β – coeficiente de temperatura para máxima potência;
- T_{op} – temperatura do módulo em operação nominal;
- $T_{máx}$ – temperatura máxima.

Logo, substituindo esses valores na equação (14), obtemos:

$$V_{mpTmáx} = 29,4 \text{ V.}$$

Para a menor temperatura (V_{mpTmin}), temos que:

$$V_{mpTmin} = V_{mp} \times (1 + \beta(T_{op} + T_{min} - 25)) \quad (15)$$

Substituindo os valores, na equação (15), obtemos:

$$V_{mpTmin} = 34,8 \text{ V.}$$

Assim, agora podemos verificar, pela equação 16, a faixa de tensão de operação do Seguidor do Ponto de Máxima Potência (SPPM), tal que:

$$\frac{V_{sppmMin}}{V_{mpTmáx}} < N^{\circ}\text{módulos_série} < \frac{V_{sppmMáx}}{V_{mpTmin}} \quad (16)$$

$$\frac{200}{29,4} < N^{\circ}\text{módulos_série} < \frac{1000}{34,8}$$

$$6 < N^{\circ}\text{módulos_série} < 29$$

Portanto, o inversor suporta entre 7 a 28 módulos conectados em série. Como o inversor tem oito entradas, três por cada MPPT e duas para o terceiro MPPT, ficou decidido que serão usadas seis strings, cada uma com 18 módulos fotovoltaicos conectados em série.

Os 108 módulos fotovoltaicos são agrupados em 06 *strings* da seguinte maneira:

String 01: 18 módulos conectados em série;

String 02: 18 módulos conectados em série;

String 03: 18 módulos conectados em série;

String 04: 18 módulos conectados em série;

String 05: 18 módulos conectados em série;

String 06: 18 módulos conectados em série.

As 06 *strings* serão conectadas ao mesmo inversor, divididas em 03 MPPTs, cada MPPT possuirá 02 Strings, distribuídos como mostrado a seguir:

MPPT 01: Strings 01 e 02;

MPPT 02: Strings 03 e 04;

MPPT 03: Strings 05 e 06.

- Proteções

- Proteção CC: A corrente máxima de entrada (CC) do inversor é 88 A (33A, 33A, 22A), é utilizado um condutor de 6mm² com capacidade de 36 A para interligar os módulos ao inversor. Desta forma é adotado para proteção CC do sistema fotovoltaico um fusível interno no inversor de 12 A. Para proteção contra surtos o inversor conta internamente com um DPS Classe II 40kA.
- Proteção CA: A corrente nominal de saída (CA) do inversor é 53,5 A, é utilizado um condutor de 25mm² com capacidade de 89 A para interligar o inversor às cargas. Desta forma é adotado para proteção CA do sistema fotovoltaico um disjuntor tripolar de 70 A. Para proteção contra surtos o inversor conta internamente com um DPS Classe II 40kA.
- Proteção contra ilhamento: Para prevenir o ilhamento, o sistema fotovoltaico conectado à rede irá cessar o fornecimento de energia à rede, independentemente das cargas ligadas ou outros geradores distribuídos.

4 ANÁLISE FINANCEIRA

Neste capítulo serão tratados os custos do projeto como orçamento dos componentes do sistema fotovoltaico, consumo de energia utilizada e em seguida será feita uma análise econômica com base nos métodos de análise financeira estudados no Capítulo 2.

4.1 DADOS FINANCEIROS DO CONSUMO DE ENERGIA

A unidade consumidora em questão tem consumo anual de 5.132,8 kWh/mês, então, usando o preço do kWh atual praticada pela concessionária local de 0,42, o custo médio mensal da sua conta de energia é igual a R\$2.155,77 mais R\$732,96 de impostos.

4.2 DADOS FINANCEIROS DO PROJETO

Com a finalidade de realizar o estudo de viabilidade econômica, fora elaborado o orçamento do sistema, com base no preço de mercado atual para cada componente do sistema fotovoltaico, que é mostrado na Tabela 5.

O sistema implementado produz aproximadamente 5.132,8 kWh/mês, gerando uma economia média mensal de consumo de R\$2.155,77, mais a economia pela redução do imposto no valor de R\$732,96.

Tabela 5 - Orçamento do sistema fotovoltaico.

Produto	Quantidade	Preço Unidade	Preço
Módulo FV CANADIAN 355 W	108	R\$711,00	R\$76.788
Inversor SUNGROW 36 kW	1	R\$23.450	R\$23.450
Perfil Industrial Rooftop 0,57 m	228	R\$3,20	R\$729,60
Terminal Final 35 mm	24	R\$4,10	R\$98,40
Terminal Intermed. 35 mm	204	R\$4,10	R\$836,40
Parafuso Metálico Auto perfurante	912	R\$0,62	R\$565,44
FITA EPDM BAND 30x3, PU=8	1	R\$3,45	R\$3,45
Conectores Fêmea/ Macho MC4	12	R\$30,49	R\$365,88
Cabo Solar 6 mm ² até 1800 V	360 metros	R\$4,59	R\$1.652,40
Disjuntor C70	3	R\$84,79	R\$254,37
Condutor de 25 mm ²	30 metros	R\$8,75	R\$262,50
Condutor de 6 mm ²	20 metros	R\$2,60	R\$52,00
Projeto Elétrico	1	R\$4.000	R\$4.000
Execução do Projeto	1	R\$20.000	R\$20.000
Total			R\$129.058

Fonte:(Próprio autor, 2020).

4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

Nesta seção serão aplicados os métodos de avaliação de projetos, vistos na seção 2.4, com a finalidade de realizar a análise de viabilidade econômica. As considerações iniciais feitas são:

- Reajuste de 5% ao ano para as tarifas de energia;
- A vida útil do projeto é de 25 anos, ou seja, a sua eficiência de geração é garantida em até 25 anos, após isso a eficiência de geração poderá diminuir a em função da vida útil do módulo FV;
- Será utilizada como Taxa Mínima de Atratividade (TMA) a taxa Selic prevista para 2020 (2,25%) e o rendimento anual da poupança de 2020 (1,58%).

A Tabela 6 apresenta os valores de fluxo de caixa e o valor acumulado para o cálculo do payback simples, é importante ressaltar que o sistema de payback simples define-se por uma metodologia de análise financeira que é composta pela soma de todas entradas futuras e não considera a variação de valor do dinheiro. O fluxo de caixa do investimento inicial foi calculado aplicando-se o reajuste anual à tarifa de energia.

Tabela 6 - Fluxo de caixa do projeto em função das tarifas para cada ano.

Tempo	Ano	Tarifa Consumo (R\$/kWh)	Economia de Consumo	Economia de Impostos	Fluxo de Caixa	Valor Acumulado
0	2020	0,42			-R\$ 129.058,00	-R\$ 129.058,00
1	2021	0,44	R\$ 27.194,53	R\$ 9.246,14	R\$ 36.440,67	-R\$ 92.617,33
2	2022	0,46	R\$ 28.554,26	R\$ 9.708,45	R\$ 38.262,70	-R\$ 54.354,63
3	2023	0,49	R\$ 29.981,97	R\$ 10.193,87	R\$ 40.175,84	-R\$ 14.178,79
4	2024	0,51	R\$ 31.481,07	R\$ 10.703,56	R\$ 42.184,63	R\$ 28.005,84
5	2025	0,54	R\$ 33.055,12	R\$ 11.238,74	R\$ 44.293,86	R\$ 72.299,70
6	2026	0,56	R\$34.707,88	R\$ 11.800,68	R\$ 46.508,55	R\$ 118.808,26
7	2027	0,59	R\$ 36.443,27	R\$ 12.390,71	R\$ 48.833,98	R\$ 167.642,24
8	2028	0,62	R\$ 38.265,43	R\$ 13.010,25	R\$ 51.275,68	R\$ 218.917,92
9	2029	0,65	R\$ 40.178,71	R\$ 13.660,76	R\$ 53.839,47	R\$ 272.757,39
10	2030	0,68	R\$ 42.187,64	R\$ 14.343,80	R\$ 56.531,44	R\$ 329.288,83
11	2031	0,72	R\$ 44.297,02	R\$ 15.060,99	R\$ 59.358,01	R\$ 388.646,84
12	2032	0,75	R\$ 46.511,87	R\$ 15.814,04	R\$ 62.325,91	R\$ 450.972,75
13	2033	0,79	R\$ 48.837,47	R\$ 16.604,74	R\$ 65.442,21	R\$ 516.414,96
14	2034	0,83	R\$ 51.279,34	R\$ 17.434,98	R\$ 68.714,32	R\$ 585.129,27
15	2035	0,87	R\$ 53.843,31	R\$ 18.306,72	R\$ 72.150,03	R\$ 657.279,31
16	2036	0,92	R\$ 56.535,47	R\$ 19.222,06	R\$ 75.757,54	R\$ 733.036,84
17	2037	0,96	R\$ 59.362,25	R\$ 20.183,16	R\$ 79.545,41	R\$ 812.582,25
18	2038	1,01	R\$ 62.330,36	R\$ 21.192,32	R\$ 83.522,68	R\$ 896.104,94
19	2039	1,06	R\$ 65.446,88	R\$ 22.251,94	R\$ 87.698,82	R\$ 983.803,75
20	2040	1,11	R\$ 68.719,22	R\$ 23.364,54	R\$ 92.083,76	R\$ 1.075.887,51
21	2041	1,17	R\$ 72.155,18	R\$ 24.532,76	R\$ 96.687,95	R\$ 1.172.575,46
22	2042	1,23	R\$ 75.762,94	R\$ 25.759,40	R\$ 101.522,34	R\$ 1.274.097,80
23	2043	1,29	R\$ 79.551,09	R\$ 27.047,37	R\$ 106.598,46	R\$ 1.380.696,26
24	2044	1,35	R\$ 83.528,64	R\$ 28.339,74	R\$ 111.928,38	R\$ 1.492.624,64
25	2045	1,42	R\$ 87.705,08	R\$ 29.819,73	R\$ 117.524,80	R\$ 1.610.149,44

FONTE: (Próprio autor, 2020).

Na Tabela 6 supramencionada, o cálculo da coluna Economia de Consumo dar-se através do cálculo de consumo anual para o qual o sistema fora dimensionado, multiplicado pelo valor da Tarifa de consumo do ano equivalente. Para a coluna de imposto, considera-se a taxa de 34% que corresponde a taxa de imposto atual. Face a isto, a Tabela 6 demonstra que com um investimento inicial de R\$ 129.058,00, os anos seguintes trazem uma economia de acordo com o que ela apresenta e que em 3 anos, todo o dinheiro investido no sistema já fora compensando monetariamente diante da Economia de Consumo e de Imposto, logo, em 25 anos que é o tempo de vida útil do sistema, o retorno financeiro se torna positivo, sendo possível acumular um capital de R\$ 1.610.149,44.

A partir da análise da Tabela 6, usada no software Excel, encontramos uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 33% e *Payback* simples de 3 anos. Como a TIR é maior que a taxa de rendimento da poupança, como também da taxa Selic, indica-se, a princípio, que o projeto é viável economicamente. Logo, Para o cálculo do VPL construiu-se a Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - VPL usando as taxas mínimas de atrativas a SELIC e poupança.

Tempo	Ano	Fluxo de caixa	Valor presente (Selic)	Valor presente (Poupança)
0	2020	-R\$ 129.058,00	R\$ 129.058,00	-R\$ 129.058,00
1	2021	R\$ 36.440,67	R\$35.638,80	R\$ 35.084,46
2	2022	R\$ 38.262,70	R\$ 36.597,30	R\$ 35.467,67
3	2023	R\$ 40.175,84	R\$37.581,58	R\$ 35.855,05
4	2024	R\$ 42.184,63	R\$ 38.592,33	R\$ 36.246,67
5	2025	R\$ 44.293,86	R\$ 39.630,26	R\$ 36.642,57
6	2026	R\$ 46.508,55	R\$ 40.696,11	R\$ 37.042,79
7	2027	R\$ 48.833,98	R\$ 41.790,63	R\$ 37.447,38
8	2028	R\$ 51.275,68	R\$ 42.914,58	R\$ 37.856,39
9	2029	R\$ 53.839,47	R\$ 44.068,77	R\$ 38.269,87
10	2030	R\$ 56.531,44	R\$ 45.253,99	R\$ 38.687,87
11	2031	R\$ 59.358,01	R\$ 46.471,09	R\$39.110,43
12	2032	R\$ 62.325,91	R\$ 47.720,92	R\$ 39.537,60
13	2033	R\$ 65.442,21	R\$ 49.004,37	R\$ 39.969,44
14	2034	R\$ 68.714,32	R\$ 50.322,34	R\$ 40.406,00
15	2035	R\$ 72.150,03	R\$ 51.675,75	R\$ 40.847,33
16	2036	R\$ 75.757,54	R\$ 53.065,56	R\$ 41.293,48
17	2037	R\$ 79.545,41	R\$ 54.492,75	R\$ 41.744,49
18	2038	R\$ 83.522,68	R\$ 55.958,33	R\$42.200,44
19	2039	R\$ 87.698,82	R\$ 57.463,32	R\$ 42.661,37
20	2040	R\$ 92.083,76	R\$ 59.008,79	R\$ 43.127,33
21	2041	R\$ 96.687,95	R\$ 60.595,82	R\$ 43.598,37
22	2042	R\$ 101.522,34	R\$ 62.225,54	R\$ 44.074,57
23	2043	R\$ 106.598,46	R\$ 63.899,09	R\$ 44.555,96
24	2044	R\$ 111.928,38	R\$ 65.617,64	R\$ 45.042,62
25	2045	R\$ 117.524,80	R\$ 67.382,42	R\$ 45.534,59
VPL			R\$ 788.765,99	R\$ 686.440,17

Fonte: (Próprio autor, 2020).

Destarte, como pode ser visualizado na Tabela 7 supracitada, o VPL, tanto para a taxa Selic como para a poupança, são maiores do que zero, juntamente com a TIR, logo, o projeto do sistema fotovoltaico em questão é viável economicamente.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho possibilitou realizar uma análise financeira, com o intuito de verificar a viabilidade econômica, através dos métodos VPL, TIR e Payback, de um projeto de sistema fotovoltaico implantado em uma fábrica de tecidos, chamada LGS Confecções LTDA, localizada no município de Tenente Ananias, Rio Grande do Norte. Para a realização das devidas evidenciações sobre o tema, buscou-se fazer um estudo pormenor de todos os componentes e equipamentos que compõe o sistema fotovoltaico, bem como a compleição do sistema fotovoltaico conectado à rede da concessionária Cosern.

O projeto de energia solar fotovoltaica estudado foi viável economicamente, uma vez que, respaldado nos métodos de avaliação de investimento, apontou uma VPL positivo e igual a R\$ 786.532,74 usando a taxa Selic e R\$684.227,16 usando a taxa de rendimento da poupança, como também apresentou uma TIR igual a 33%, que é superior a taxa da Selic e da poupança, sendo reforçado pelo *Payback* de 3 anos.

Foi possível perceber que a tecnologia fotovoltaica requer um investimento inicial alto, devido aos preços elevados dos componentes, principalmente dos módulos fotovoltaicos e do inversor solar, que são importados. Entretanto, esses custos estão tendendo a serem reduzidos ao longo dos anos. Concomitantemente, não existem estimativas de redução dos custos da geração de energia elétrica convencional para os consumidores, o que faz com que a energia solar fotovoltaica seja uma alternativa bastante atrativa para complementar a matriz energética brasileira, que possui sua base na produção elétrica [30].

Como conclusão final, pode-se afirmar que foi possível vislumbrar outros benefícios da utilização da geração fotovoltaica que, além de diversificar a matriz energética nacional, ainda traz benefícios econômicos, sociais e ambientais.

REFERÊNCIAS

- [1] LIMA, G. M. . **Fontes alternativas de energia**. 1. ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.
- [2] ANEEL. Disponível em: <[httpwww2.aneel.gov.br/scggdGD_Fonte.asp](http://www2.aneel.gov.br/scggdGD_Fonte.asp)>. Acesso em Agosto de 2020.
- [3] PEREIRA, Enicio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. INPE, 2017.
- [4] Cardenos Temáticos ANEEL. **Micro e mini geração distribuída - Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2.ed. Brasília-DF, 2016. Disponível em: < https://www.aneel.gov.br/livros-asset_publisherNBC33JHYPjrvcontentcadernos-tematicos-aneel-micro-e-m>. Acesso em Agosto de 2020.
- [5] Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projeto e instalação. Janeiro de 2004. Disponível em: < <http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>>. Acesso em Agosto de 2020.
- [6] TORRES, Douglas Guedes Batista et al. Células fotovoltaicas: Desenvolvimento e as três gerações. **Revista Técnico-Científica**, n. 17, 2019.
- [7] OLIVEIRA SOBRINHO, LOUISE CRISTINA. **Desenvolvimento e pesquisa na terceira geração de células**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10018694.pdf>> , Acesso em Agosto 2020.
- [8] PINHO, J.T.;GALDINO, M.A., et al. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CEPEL - CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.
- [9] Energia solar. Disponível em: < www.solar-energia.com.br>. Acesso em Agosto de 2020.
- [10] JOÃO, PEDRO EDUARDO THOMAZ VIEIRALVES. **Análise técnico-econômica de uma minigeração fotovoltaica em um galpão logístico em contagem MG**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10016391.pdf>> , Acesso em Agosto de 2020.
- [11] DI MARCO, Gaetano; PALMISANO, Leonardo. **Fotovoltaicos de filme fino**. 2010.
- [12] Portal Energia Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico>>. Acesso em Agosto de 2020.

- [13] ELY, Fernando; SWART, Jacobus W. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. **Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos ou Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), O Setor Elétrico, ed**, v. 105, p. 138-139, 2014.
- [14] **Módulo Fotovoltaico CANADIAN de 355W**. Disponível em: < http://www.sicessolar.com.br/wp-content/uploads/2017/12/CSI_KuMax_CS3U-345-360-P.pdf>. Acesso em Agosto de 2020.
- [15] H. A. Barata. **Impacto de redes de distribuição com massiva conexão de geradores fotovoltaicos na estabilidade de tensão de longo-prazo em sistemas de potência**. Dissertação de mestrado, UFPA, Belém, Brasil, 2017.
Disponível em: <http://www.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/DM%2017_2017%20Heitor%20Alves%20Barata.pdf>. Acesso em Agosto de 2020.
- [16] BONIFÁCIO, P. J. S. **Seguidor fotovoltaico: uma variação do p&o - simulação e prototipagem**. Dissertação de Mestrado – FCT. Lisboa – PT, 2010.
- [17] S. De Castro Lobato. *Análise comparativa entre as principais técnicas de MPPT com foco experimental*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 2015.
- [18] COLLARES, F. S. Comparação Quantitativa de Métodos de Paralelismo de Módulos Fotovoltaicos com a Rede Elétrica para Geração Distribuída Através do Controle de Conversores de Potência. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Novembro 2012
- [19] PEREIRA, Narlton Xavier. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/181288>. Acesso em Agosto de 2020.
- [20] SOUZA, Ronilson di. Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltáica. Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares. Ribeirão Preto: Bluesol, 2012.
- [21] **Curso de Energia Solar – Instalação de Painéis Fotovoltaicos**. SONNEHAUS, Campina Grande, PB, 2017.
- [22] BRITO, Sérgio de Salvo. Tutorial de Energia Solar—Princípios e Aplicações. 2006. **CRESESB—Centro de Referência para Energia Solar e Eólica**. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php>>.
- [23] Neo Solar. Disponível em: <www.neosolar.com.br>. Acesso em Agosto de 2020.
- [24] Cosern, **Norma de Distribuição - Engenharia 0002**, 2016.
- [25] Cosern, **Norma de Distribuição - Engenharia 0021**, 2018.
- [26] NOGUEIRA, E.. **Introdução à Engenharia Econômica**. São Carlos: EDUFScar, 2012.
- [27] Memorial Técnico descritivo. Projeto Elétrico de um Sistema Fotovoltaico conectado a Rede com Compensação de Energia Elétrica. LGS Confecções LTDA. Tenente Ananias-RN, 2019.
- [28] Atlas Solar Global. Disponível em: <<http://globalsolaratlas.infomapc=11.523088,8.4375,3>>. Acesso em Agosto de 2020.
- [29] **Centro para Referência em Energia solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB)**. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em Agosto de 2020.
- [30] HENRIQUES, António Ricardo Sones. **Previsão de Potencial de Mercados Emergentes de Tecnologia Fotovoltaica**. 2012. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/73483/2/24997.pdf> >. Acesso em Agosto de 2020.
- [31] Empresa de Pesquisa Energética. < <https://www.epe.gov.br/pt> >. Acesso em Setembro de 2020.

ANEXO A – Ficha técnica do Módulo Fotovoltaico.

NEW

CanadianSolar

KuMax (1000 V / 1500 V) SUPER HIGH EFFICIENCY POLY^{GEN4} MODULE CS3U-345|350|355|360P

With Canadian Solar's industry leading black silicon cell technology and the innovative LIC (Low Internal Current) module technology, we are now able to offer our global customers high power poly modules up to 360 W.

The KuMax poly modules with a dimension of 2000 × 992 mm, close to our 72 cell MaxPower modules, have the following unique features:

- **Higher** power classes for equivalent module sizes
- **High** module efficiency up to 18.15 %
- **LOW** hot spot temperature risk
- **LOW** temperature coefficient (Pmax): -0.38 % / °C
- **LOW** NMOT (Nominal Module Operating Temperature): 43 ± 2 °C

More power output thanks to low NMOT: 43 ± 2 °C

Low power loss in cell connection

Safer: lower hot spot temperature

Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

1500V

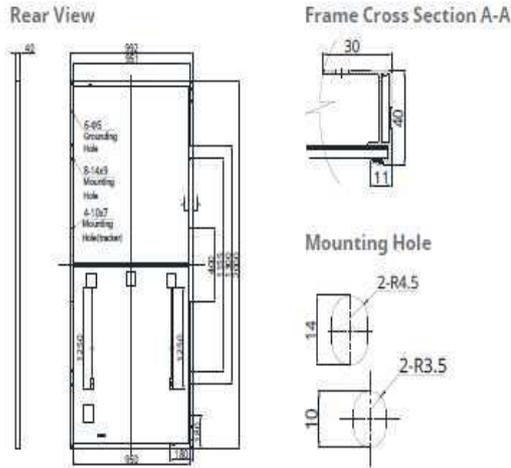
Low BoS cost with 1500 V_{DC} system voltage

25 years linear power output warranty

PRODUCT CERTIFICATES*
IEC 61215 / IEC 61730; 2005 & 2016; VDE / CE / UL 1703; CSA

CE, TÜV, ISO, etc.

ENGINEERING DRAWING (mm)



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3U	345P	350P	355P	360P
Nominal Max. Power (Pmax)	345 W	350 W	355 W	360 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	39.0 V	39.2 V	39.4 V	39.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.86 A	8.94 A	9.02 A	9.10 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.4 V	46.6 V	46.8 V	47.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.43 A	9.51 A	9.59 A	9.67 A
Module Efficiency	17.39%	17.64%	17.89%	18.15%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC / UL) or 1500 V (IEC / UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	30 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

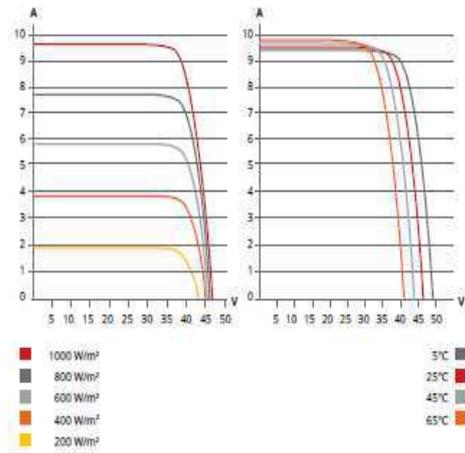
* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3U	345P	350P	355P	360P
Nominal Max. Power (Pmax)	255 W	259 W	263 W	266 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.6 V	35.8 V	36.0 V	36.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.17 A	7.24 A	7.29 A	7.37 A
Open Circuit Voltage (Voc)	43.3 V	43.5 V	43.7 V	43.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.61 A	7.68 A	7.74 A	7.80 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

CS3U-355P / I-V CURVES



MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 156.75 x 78.38 mm
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2000 x 992 x 40 mm (78.7 x 39.1 x 1.57 in)
Weight	22.6 kg (49.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4.0 mm ² & 12 AWG
Cable Length	1670 mm (65.7 in)
Connector	T4 (IEC / UL)
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.38 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	43±2 °C

PARTNER SECTION



ANEXO B – Ficha técnica do Inversor Fotovoltaico.

SUNGROW

SG36KTL-M

Inversor String com Multi-MPPT para Sistema 1000 V_{cc}



Alto Rendimento

- Máx. Eficiência 98,5%, Eficiência Europeia 98,3%
- 3 MPPT, Máx. relação DC/AC até 1.4
- Operação à potência nominal mesmo sobre condições de montagem horizontal a 45°C devido design eficiente de dissipação de calor



Investimento económico

- Combiner box integrada, DPS DC e AC, sistema de baixo custo



Fácil O&M

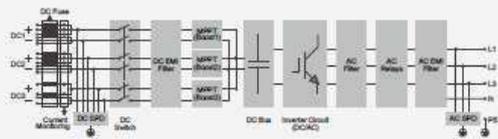
- Função de monitoramento de corrente de string para solução rápida de problemas
- Design compacto, baixo peso para uma rápida instalação
- Dispositivo DPS e ventiladores com design plug-in para fácil manutenção em campo



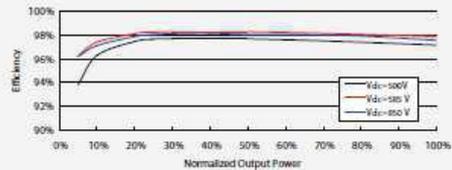
Suporte a rede

- Em conformidade com as normas: IEC 62109-1/-2, IEC 62103, IEC 61727, IEC 62116, EN 61000-6-2/-3, BDEW, G59/3, VDE 0126-1-1/4105/0124-100
- Suporte a rede incluindo: LVVRT, HVVRT, ZVRT, anti-ilhamento, regulação de potência ativa e reativa, controle de fator de potência FP e de partida/parada.

Diagrama de circuito



Curva de eficiência



SG36KTL-M

Entrada (DC)

	SG36KTL-M
Máx. tensão de entrada FV	1100 V
Mín. tensão de entrada FV	200 V
Tensão de partida da entrada	250 V
Tensão FV nominal de entrada	565 V
Faixa de tensão MPP	200 – 1000 V
Faixa e tensão MPP para potência nominal	500 – 850 V
No. de entradas MPP independentes	3
Número máximo de strings FV por MPPT	3 / 3 / 2
Máx. corrente FV de entrada	66A (33A/33A/22A)
Máx. corrente por conector de entrada	12 A
Máx. corrente de curto circuito DC	96 A

Saída (AC)

Potência nominal AC (a 50 °C)	36000 W
Potência AC máx. para FP = 1 (a 45 °C)	36000 W
Potência aparente máx. AC (a 45 °C)	36000 VA
Corrente de saída máx. AC	53.5 A
Tensão nominal AC	3 / PE or 3 / N / PE, 230 / 400 V
Faixa de tensão AC	310 – 480 V
Frequência nominal da rede	50 Hz / 60 Hz
Faixa de variação de frequência	45 – 55 Hz / 55 – 65 Hz
DHT - Distorsão harmônica total	< 3 % (a potência nominal)
Injeção de corrente DC	< 0.5 % In
Fator de potência a potência nominal / Fator de potência ajustável	> 0.99 / 0.8 adiantado – 0.8 atrasado
Fases de entrada / fases de conexão	3 / 3

Eficiência

Eficiência máx. / Eficiência Europeia	98.5 % / 98.3 %
---------------------------------------	-----------------

Proteção

Proteção contra conexão DG invertida	Sim
Proteção contra curto circuito AC	Sim
Proteção contra corrente de fuga	Sim
Monitoramento de rede	Sim
Monitoramento de falha	Sim
Interruptor DC	Sim
Interruptor AC	Não
Fusível DC	Sim (15A)
Monitoramento de corrente de string FV	Sim
Categoria de sobretensão DC	DC Tipo II DIN rail protetor de surto (40 kA)
Categoria de sobretensão AC	AC Tipo II

Dados gerais

Dimensões (L*A*P)	525x740x240 mm
Peso	48 kg
Método de isolamento	Sem transformador
Grau de proteção (IP)	IP65
Consumo de potência a noite	< 2 W
Faixa de temperatura ambiente de operação	-25 to 60 °C (> 50 °C desclassificação)
Faixa de umidade relativa permissível (sem condensação)	0 – 100 %
Método de resfriamento	Resfriamento com ar forçado inteligente
Máx altitude e operação	4000 m (> 3000 m desclassificação)
Visor / Comunicação	LCD gráfico / RS485
Tipo de conexão DC	MG4 (Max. 6mm²)
Tipo de conexão AC	Terminal com rosca (Max. 50 mm²)
Atendimento aos padrões	IEC 62109-1-2, IEC 62103, IEC 61727, IEC 62116, EN 61000-6-3, EN 61000-6-2, BDEW, G59/3, VDE 0126-1-1/4105/0124-100
Suporte a rede	LVRT, HVRT, ZVRT, anti-ilhamento, regulação de potência ativa e reativa,