UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

HERIK ROBERTO RODRIGUES SILVA

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: DIMENSIONAMENTO DE UMA MICRO USINA PARA PROPRIEDADE RURAL MODELO NA CIDADE DE PAU DOS FERROS-RN.

Pau dos Ferros - RN

Março – 2019

HERIK ROBERTO RODRIGUES SILVA

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: DIMENSIONAMENTO DE UMA MICRO USINA PARA PROPRIEDADE RURAL MODELO NA CIDADE DE PAU DOS FERROS-RN.

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso Engenharia Civil, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em cumprimento às exigências legais como requisito à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Messias Fernandes Neto (UFERSA - Campus Pau dos Ferros)

Pau dos Ferros – RN

Março – 2019

HERIK ROBERTO RODRIGUES SILVA

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: DIMENSIONAMENTO DE UMA MICRO USINA PARA PROPRIEDADE RURAL MODELO NA CIDADE DE PAU DOS FERROS-RN.

Relatório final, apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Pau dos Ferros, 22 de março de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Messias Fernandes Neto

(Orientador – UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)

Prof. Dr. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo (UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)

Prof. Dr. Cecílio Martins de Sousa Neto (UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Centro multidisciplinar de Pau dos Ferros (BCPDF)

Setor de Informação e Referência (SIR)

S586e Silva, Herik Roberto Rodrigues.

Energia solar fotovoltaica: dimensionamento de uma micro usina para propriedade rural modelo na cidade de Pau dos Ferros-RN./ Herik Roberto Rodrigues Silva. – 2019.

98 f.: il.

Orientador: Prof. Messias Fernandes Neto

Monografia (graduação) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2019.

1.Energia renovável. 2.Módulos fotovoltaicos. 3.Fontes alternativas de energia. I.Neto, Messias Fernandes, oriente. II. Título.

Á minha mãe por todo apoio e confiança depositado a mim, dedico essa vitória. A minha família por sempre estar presente em minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, pela saúde, determinação e força de vontade que me deu durante minha caminhada de vida.

Aos familiares, que estão presentes em todas as horas, principalmente nos momentos de fraqueza, com incentivos, carinho e me ensinando de todas as formas a me tornar uma pessoa melhor. Em especial a minha mãe, Isleude Maria, por ter me dado a vida e me repassado a melhor educação possível, ao meu pai Joaquim Neto, ao meu padrasto Paulo, aos meus tios/irmãos Nádia e Idemildes, a meus avós Francisco Rodrigues Neto e Nilza dos Santos que me têm como um filho, a minha irmã Helen Rute, por ser meu suporte em todos os momentos difíceis da minha vida.

A minha namorada Naiara, por se mostrar presente em todos os momentos me apoiando e incentivando a conquistar meus objetivos, por sua compreensão em todos os momentos que não pude estar presente, meu muito obrigado.

Essa vitória dedico em memória do meu padrinho/tio/pai Natan, a todo momento de sua vida me teve como um filho e me apoiou em todas as decisões, você estará eterno no meu coração.

Agradeço a todos os funcionários da UFERSA, em especial ao meu professor orientador Messias Fernandes Neto, pelo apoio intelectual, pelos puxões de orelha, pela atenção prestada a mim, compreensão, e pelas inúmeras vezes abdicou do seu tempo e trabalho para a orientação e contribuição na elaboração deste trabalho. Termino a pesquisa com a certeza que escolhi o melhor orientador.

Agradeço aos amigos da Universidade, que não mencionarei aqui por conta da quantidade, mas que sem duvidas me tornaram um profissional e pessoa melhor a cada dia e por representarem minha segunda família nos momentos mais difíceis de minha caminhada. Por todos os momentos de companheirismo e aprendizagem que passamos, o meu muito obrigado.

RESUMO

A energia elétrica é um dos recursos de maior importância para a humanidade nos dias atuais, sem ela é impossível o desempenho de quase todas as atividades humanas. Porém, historicamente os meios de produção de eletricidade se davam a partir das fontes não-renováveis. Em virtude das mudanças climáticas e de problemas de ordem política e econômica, a partir da década de 1970 houveram inúmeros investimentos no sentido de aprimorar fontes alternativas de energia, de modo a diversificar a geração, diminuindo assim a forte dependência de algumas fontes, tais como a oriunda de combustíveis fósseis, ou hidrelétricas, por exemplo. Dentre as alternativas, uma das que apresenta grande potencial (e vem crescendo bastante nos últimos anos) é a energia solar, que pode ser aproveitada para fins de aquecimento e para a geração de eletricidade. A vantagem desta tecnologia em relação às demais é a conversão direta de energia através da excitação de elétrons nos módulos ocasionada pelos fótons da luz. Ao contrário, fontes como as hidrelétricas, apesar de serem renováveis, necessitam de uma força motriz que movimente as turbinas conectadas ao rotor de geradores, além de demandarem de grandes áreas para implantação, ocasionando elevados impactos ambientais. Desse modo, este trabalho tem como objetivo a elaboração de um projeto de energia solar para uma edificação rural modelo localizada no município de Pau dos Ferros/RN, o cálculo do seu custo e do *payback* do investimento. A metodologia empregada para sua realização foram as pesquisas bibliográfica e documental, com o intuito de obter a fundamentação teórica necessária, aliadas à um estudo de caso onde foi elaborado um projeto modelo de uma residência rural, selecionado os equipamentos comumente encontrados em tais locais e estimado a potência diária necessária a ser gerada para garantir o funcionamento de todos os equipamentos, seguindo a orientação de normas técnicas, tais como a ABNT NBR 5410/2004 e a norma da concessionária local, a Cosern. Como resultado concluiu-se que será necessário um total de 52 módulos. Além disso, o custo total de implantação do sistema calculado foi de R$ 69.980,70, que comparado com valores de simuladores de algumas plataformas, mostra-se coerente. Por fim, o payback calculado mostrou que será necessário um total de 80 meses para obter o retorno do investimento.

Palavras-chave: Energia renovável; Módulos fotovoltaicos; Fontes alternativas de energia.

ABSTRACT

Electric power is one of the most important resources for humanity today, without it is impossible to perform almost all human activities. However, historically the means of producing electricity came from non-renewable sources. Due to climatic changes and political and economic problems, from the 1970s onwards, there have been countless investments to improve alternative sources of energy, in order to diversify generation, thus reducing the strong dependence on some sources, such as the one derived from fossil fuels, or hydroelectric, for example. Among the alternatives, one of those with great potential (and growing in recent years) is solar energy, which can be used for heating purposes and for electricity generation. The advantage of this technology in relation to the others is the direct conversion of energy through the excitation of electrons in the modules caused by the photons of light. On the contrary, sources such as hydroelectric plants, although renewable, require a driving force that drives the turbines connected to the generator rotor, in addition to requiring large areas for deployment, causing high environmental impacts. Thus, this work aims at the elaboration of a solar energy project for a rural model building located in the municipality of Pau dos Ferros / RN, the calculation of its cost and the investment payback. The methodology used was the bibliographical and documentary research, with the purpose of obtaining the necessary theoretical foundation, together with a case study where a model project of a rural residence was elaborated, selecting the equipment commonly found in such places and estimated the daily power needed to be generated to ensure the operation of all equipment, following the guidance of technical standards such as ABNT NBR 5410/2004 and the local utility standard, Cosern. As a result it was concluded that a total of 52 modules will be needed. In addition, the total cost of implementation of the calculated system was R$ 69,980.70, which compared to the simulator values of some platforms, is consistent. Finally, the calculated payback showed that it will take a full 80 months to get the return on investment.

Keywords: Renewable energy; Photovoltaic modules; Alternative energy sources.

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABSOLAR Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

CEPEL Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

COSERN Companhia Energética do Rio Grande do Norte

CRESESB Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

DPS Dispositivo de Proteção Contra Surtos

DTM Disjuntor Termomagnético

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MME Ministério de Minas e Energia

NBR Norma Brasileira

NR Normas Regulamentadoras

PIB Produto Interno Bruto

PRONAF Programa Nacional De Fortalecimento de Agricultura Familiar

REN Renewable Energy Policy Network

RN Rio Grande do Norte

SEBRAE Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SFCR Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SFI Sistema Fotovoltaico Isolado

TUE Tomada de Uso Específico

TUG Tomada de Uso Geral

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Coeficiente (β) de variação da tensão de circuito aberto (V_{oc}) com a temperatura..... 34

Equação 2 – tensão de circuito aberto (V_{oc})..... 34

Equação 3 – Coeficiente (α) de variação da corrente de curto-circuito com a temperatura..... 34

Equação 4 – Coeficiente (γ) de variação da potência máxima (potência de pico) do módulo com a temperatura..... 34

Equação 5 – Ponto de máxima potência (P_{mp}) 34

Equação 6 – Ponto de máxima potência (P_{mp}) 34

Equação 7 – Coeficiente de variação da potência máxima do módulo com a temperatura 34

Equação 8 – Temperatura de operação de um módulo fotovoltaico em condições ambientais..... 35

Equação 9 – Coeficiente térmico para os módulos..... 35

Equação 10 – Eficiência de conversão do inversor..... 42

Equação 11 – Eficiência do inversor no seguimento do ponto de máxima potência..... 42

Equação 12 – Eficiência total do inversor..... 42

Equação 13 – Potência do sistema gerador P_m..... 50

Equação 14 – Quantidade de Energia consumida diariamente no mês 50

Equação 15 – Horas de sol pleno..... 51

Equação 16 – Intervalo para a potência máxima DC..... 52

Equação 17 – Número máximo de módulos que é possível ligar em série.....52

Equação 18 – A tensão de circuito aberto à temperatura de -10%..... 53

Equação 19 – Número mínimo de módulos ligados em série..... 53

Equação 20 – Tensão máxima do módulo à temperatura de 70°c..... 53

Equação 21 – Número máximo de fileiras ligadas em paralelo..... 54

Equação 22 – Intensidade de corrente..... 54

Equação 23 – Tempo de *payback*..... 55

Equação 24 – Rentabilidade..... 55

Equação 25 – Número de módulos..... 69

Equação 26 – Corrente nominal do disjuntor..... 75

Equação 27 – Custo dos módulos..... 77

Equação 28 – Custo total..... 78

Equação 29 – Consumo médio mensal..... 78

Equação 30 – Produção média mensal..... 79

Equação 31 – Valor da economia em reais por ano..... 80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sequência do dimensionamento do sistema fotovoltaico. 21

Figura 2 - Mapa do Rio Grande do Norte com a demarcação de Pau dos Ferros....22

Figura 3 - Localização da propriedade rural usada como modelo. 22

Figura 4 - Gleba ao qual a propriedade pertencia. 23

Figura 5 - Participação estimada de energias renováveis na produção mundial de eletricidade, final de 2015.....24

Figura 6 - Oferta interna de energia elétrica – 2017. 25

Figura 7 - Oferta interna de energia elétrica (OIEE) em 2018. 26

Figura 8 - Desenho esquemático da junção pn. 29

Figura 9 - Sistemas conectados à rede. 31

Figura 10 - Módulos fotovoltaicos. 32

Figura 11 - Efeito causado pela temperatura na célula. 33

Figura 12 - Caixa de conexões. 36

Figura 13 - Conectores de engate rápido MC4.....37

Figura 14 - Fusível de proteção da série fotovoltaica. 39

Figura 15 - Inversor fotovoltaico Fronius. 40

Figura 16 - Localização das instalações e obtenção das coordenadas geográficas. 56

Figura 17 - Energia diária em vários planos de inclinação - SunData 57

Figura 18 - Valor da irradiação obtido no Global Atlas Solar. 58

Figura 19 - Projeto básico arquitetônico 59

Figura 20 - Média das temperaturas diárias anuais. 66

Figura 21 - Resultado do sistema obtido na plataforma NeoSolar. 82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Normas para projetos de sistemas fotovoltaicos.....46

Tabela 2 - Potência dos equipamentos.....61

Tabela 3 - Potência de iluminação.....62

Tabela 4 - Características elétricas e térmicas do módulo.....64

Tabela 5 - Inversores selecionados. 71

Tabela 6 - Inversor monofásico selecionado.....71

Tabela 7 - Dispositivos de proteção.....76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 OBJETIVOS 18
1.2 JUSTIFICATIVA 18
1.2 METODOLOGIA 18
1.2.1 Localização da propriedade rural em estudo 21

2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONCEITOS, PRINCÍPIOS E COMPONENTES BÁSICOS 24
2.1 MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL E NACIONAL 24
2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA 27
2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO 30
2.4 COMPONENTES E FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS CONECTADOS À REDE 31
2.4.1 Módulos Fotovoltaicos 31
2.4.1.1 Efeito da Temperatura 34
2.4.2 Caixa de Conexões 36
2.4.3 Terminais 37
2.4.4 Diodo de desvio (by-pass) 38
2.4.5 Diodo de bloqueio 38
2.4.6 Fusíveis de proteção da série fotovoltaica 39
2.4.7 Inversores 40
2.4.7.1 Características dos inversores 41
2.4.7.2 Inversores para SFCRs 41
2.4.8 Proteção 42
2.5 RESOLUÇÕES E NORMATIZAÇÕES 43
2.5.1 Resolução N°482 de 2012. 43
2.5.1 Normatização 45

3 MÉMORIA DE CÁLCULO 49
3.1 ETAPAS INICIAIS DO PROJETO DO SISTEMA 50
3.2 INTERVALO DE POTÊNCIA PARA A ESCOLHA DO INVERSOR. 52
3.3 NÚMERO MÁXIMO DE MÓDULOS POR FILEIRA. 52
3.4 NÚMERO MÍNIMO DE MÓDULOS POR FILEIRA. 53

3.5 NÚMERO DE FILEIRAS EM PARALELO 54
3.6 PAYBACK 55

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 56
4.1 LEVANTAMENTO DO RECURSO SOLAR 56
4.2 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E ESTIMATIVA DE USO DIÁRIO 59
4.3 SELEÇÃO DOS MÓDULOS 63
4.4 EFEITO DA TEMPERATURA NO MÓDULO 65
4.5 CÁLCULO DA POTÊNCIA DO GERADOR E DA QUANTIDADE DE MÓDULOS68
4.6 DIMENSIONAMENTO E ESCOLHA DO INVERSOR 70
4.7 STRING BOX 75
4.8 ANÁLISE DE CUSTO DO SISTEMA E PAYBACK 77
4.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS 81

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 83

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 84

APÊNDICES 87
APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DA RESIDÊNCIA RURAL 87
APÊNDICE B – PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO 88

ANEXOS 89
ANEXO 1 – PREVISÃO DE CARGA PARA APARELHOS DE USO ESPECÍFICOS DE ACORDO COM A COSERN. 89
ANEXO 2 – ENERGIA DIÁRIA–EM VÁRIOS PLANOS DE INCLINAÇÃO 90
ANEXO 3 – DATASHEET DO MÓDULO SOLAR CANADIAN SOLAR CS3W – 395P91
ANEXO 4 – DATASHEET DO INVERSOR FRONIUS 15.0-3 208/240 93
ANEXO 5 – DATASHEET DO INVERSOR FRONIUS 15.0-3M 95
ANEXO 6 – DATASHEET DO DISJUNTOR SUNTREE CC 16A 1000 VDC 4 POLOS97
ANEXO 7 – DATASHEET DO DPS CC – 600V-40KA-FOTOVOLTAICO TOMZN..... 97
ANEXO 8 – DATASHEET DO PORTA FUSÍVEL COM FUSÍVEL 16A 1000V CC WOLDSUNLIGTH 98
ANEXO 9 – GRÁFICO OBTIDO NA PLATAFORMA NEOSOLAR PARA A ECONOMIA DO SISTEMA AO LONGO DOS ANOS. 98

1 INTRODUÇÃO

A importância da eletricidade no mundo é inquestionável. Em casas, comércios, indústrias, escolas, hospitais e no campo ela está presente, justificando-se pela sua facilidade de conversão em outras formas de energia, como exemplo, mecânica, térmica, luminosa e cinética. Por outro lado, a maior parcela da geração de energia no mundo provém de fontes não renováveis e/ou derivadas do petróleo, em consequência disso e da crise do petróleo em meados da década de 70, houve um forte crescimento em pesquisas correlacionadas às fontes alterativas de energias e sua aplicabilidade para fins comerciais, já que o efeito fotovoltaico era conhecido desde o início do século XX. Desta forma a crise serviu de alerta para a diversificação das fontes de energia, diminuindo sua dependência das derivadas do petróleo.

No Brasil, a matriz energética é composta basicamente por duas vias principais: o petróleo e as hidrelétricas. Esta última, embora se utilize de recursos naturais renováveis, causam impactos ambientais e sociais, provenientes de desapropriação e alagamento de grandes áreas (D'AVILA, RIBEIRO E SEIKE, 2017). Se tratando a geração de energia através dos raios solares, de acordo com o Global Solar Atlas do Banco Mundial (2018), o Brasil apresenta um ótimo potencial para a geração de energia proveniente do sol (fotovoltaica) sobretudo na região Nordeste do país, a qual está localizada próximo a linha do equador, possuindo pouca variação da radiação ao longo das estações do ano. Porém a região vem enfrentando grandes períodos de estiagem, podendo a energia solar apresentar uma importante alternativa para a matriz elétrica da região.

Nesse sentido, nos últimos dez anos têm ocorrido no Brasil crescimento em iniciativas nos âmbitos da sustentabilidade ambiental e diversificação da matriz elétrica nacional, de acordo com dados da ANEEL (2017), sobretudo no âmbito solar que apresentou crescimento exponencial a partir do ano de 2012. Saiu de 0,4 MW em 2012 para 114,7 MW em maio de 2017. Desta forma, o crescimento neste setor representou um acréscimo de 114,3 MW em 5 anos. Porém, com relação a participação dos consumidores na produção solar, destacam-se que as classes

residenciais (79,5%) e comerciais (15%) são os maiores contribuintes nessa parcela, já o meio rural produz apenas 2,1%.

Em contrapartida aos percentuais referenciados acima, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) mostram-nos que o setor do agronegócio participa de cerca de 5,7% do PIB nacional e foi o que possuiu o maior crescimento no ano de 2017, cerca de 14,5%, enquanto os outros setores tiveram percentuais negativos. Embora o crescimento no setor, percebe-se que atualmente matriz elétrica solar no ramo da agricultura ainda é escassa em comparação a sua expansão no cenário brasileiro.

Todavia, o Governo Federal nos últimos seis anos vem direcionando investimentos para que a realidade seja alterada. Em 2015, o uso da energia solar fotovoltaica rural foi incentivada por linhas de financiamento específicas como o pronaf mais alimentos e o pronaf ECO, linhas com as melhores taxas de juros no cenário atual. Com os investimentos no meio rural segundo ANEEL (2019) a produção de energia solar passou de 672 kW em 2016 para cerca de 20MW em 2018.

No âmbito rural, o agricultor se utiliza desse sistema para a irrigação, captação de água (profunda e superficial), alimentação de forrageiras, eletrificação rural, iluminação e uso de equipamentos residenciais. Tendo em vista sua importância para o setor e considerando este cenário, as principais inquietações inferidas nesta pesquisa são: de que forma um projeto de sistema fotovoltaico e análise de custos podem trazer avanço deste sistema na propriedade rural? A criação de modelos padrões de construção de projeto se torna importante para pesquisas futuras neste âmbito?

Em resposta à tais questionamentos feitos no parágrafo anterior, tem-se que: a agricultura e a agropecuária, sejam elas em grande escala ou familiar são os motores que permitem e viabilizam a continuidade da espécie humana visto a grande necessidade diária de alimentos para que seja garantida a continuidade das funções biológicas. Porém, observa-se que no âmbito do pequeno produtor há poucos incentivos para que melhorem sua produção, tecnifiquem-a incorporando novas tecnologias ao processo produtivo (plantação, colheita, acompanhamento) e que contribuam para a minimização das despesas à médio e longo prazo.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral dimensionar uma micro usina fotovoltaica para uma propriedade rural modelo, tomando como referência uma propriedade rural na cidade de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, compreendendo as variáveis existentes e evidenciando técnicas solucionáveis.

Os objetivos específicos necessários para se alcançar o objetivo central são: aprimorar um procedimento operacional padrão de dimensionamento dos componentes do sistema seguindo critérios da literatura consultada de modo que sirvam de modelo para estudos futuros; avaliar as informações obtidas a fim de utilizá-las para a composição croquis preliminares e projeto do sistema fotovoltaico; fazer uma breve análise de custo do sistema proposto.

1.2 JUSTIFICATIVA

Diante da temática abordada torna-se evidente a necessidade de se ampliar e direcionar estudos sobre a geração de energia solar para pequenos produtores rurais, sobretudo no nordeste brasileiro, onde se tem duradouros períodos de estiagem e em contrapartida um enorme potencial de produção de energia através de fonte solar. Destaca-se sua importância para a diminuição de despesas do produtor, preservação dos recursos naturais e para o aumento e modernização da produção neste meio. Outro ponto importante deste estudo está voltado para uma análise criteriosa da realidade e produção de materiais que podem nortear outros estudos sobre o tema.

1.2 METODOLOGIA

Esse estudo tem por finalidade realizar uma pesquisa, uma vez que utilizará conhecimento da pesquisa para resolver problemas.

De acordo com Cervo, Bervian, e Silva, (2007, p.57) a pesquisa trata-se da atividade voltada para a investigação de problemáticas teóricas ou práticas por meio do uso de processos científicos. E por meio dos métodos científicos, busca uma resposta ou solução.

Para subsidiar o trabalho, a análise do contexto e implantação de projetos de sistemas fotovoltaicos em ambientes rurais, apresenta-se como elemento importante para compreensão e apreensão da dimensão projetual do objeto de estudo. Para a realização deste trabalho, foram utilizados métodos e técnicas capazes contemplar a abordagem dos sistemas solares com emprego de técnicas quantitativas e qualitativas.

Destaca-se ainda que a pesquisa contará com o banco de dados da Empresa Júnior Pirâmides Topografia e Projetos, empresa veiculada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, que presta serviço na área de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil. O recorte espacial da pesquisa teve como foco um levantamento de uma área rural, realizado pela empresa anteriormente referenciada, na cidade de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte.

No desenvolvimento da pesquisa, a base conceitual foi orientada com o método dedutivo Guerra e Guerra (1997) no que se refere à consolidação do referencial teórico, revisão bibliográfica, representação, interpretação, análise dos dados, informações e elaboração do texto. O método indutivo foi adotado no desenvolvimento das atividades de campo, com fundamento na observação dos elementos naturais, construídos, históricos, e humanos da área da pesquisa, de modo subjacente à pesquisa qualitativa com abordagem dialética e crítica.

Considerando a diversidade de situações inerentes à pesquisa realizada e no intuito de atingir os objetivos propostos, foram desenvolvidos os procedimentos metodológicos relacionados a seguir:

a) Revisão bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada analisando informações teóricas e técnicas relacionadas à importância do dimensionamento e projeto de sistemas solares para pequenos produtores rurais, sendo embasada com o uso de informações em fontes primárias e secundárias contemplando: artigos, livros, textos,

revistas, monografias, dissertações e tese relacionadas às questões da pesquisa, bem como a seleção de autores que possam subsidiar o estudo, com o propósito de contemplar um embasamento teórico mais consistente e corroborar significativamente com as conclusões inferidas na finalização deste trabalho;

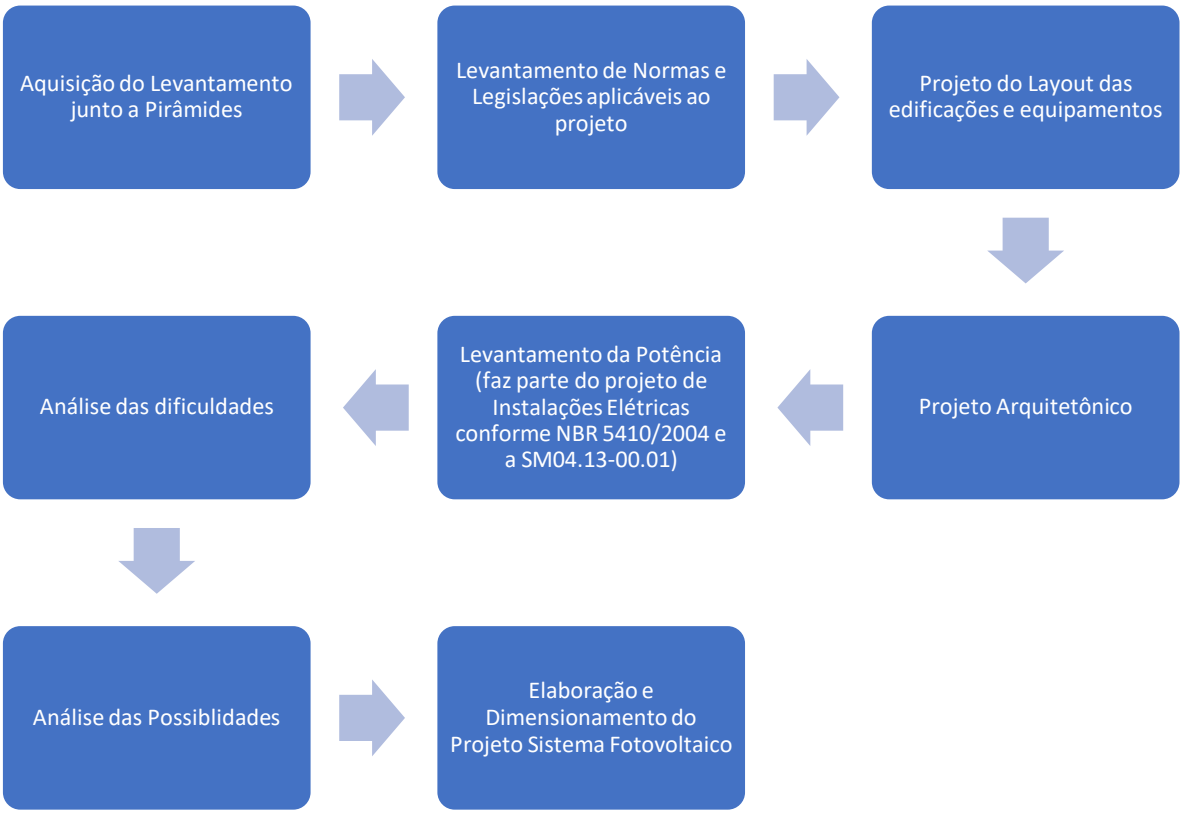
b) Dimensionamento do sistema

Concomitante as realizações das pesquisas bibliográficas, o estudo prevê o uso de dados de uma levantamento realizado pela empresa Pirâmides, realizado através do uso de uma Estação Total modelo FOIF OTS652R300 e de um GPS Geodésico, embasando a pesquisa e possibilitando todos os dimensionamentos e considerações, e nesse sentido, pode-se levantar os dados necessários a caracterização da área a ser estudada e em seguida criados modelos digitais com o uso do software *Autodesk AutoCAD 2018*, versão educacional. Esse processo servirá como base para o desenvolvimento algumas etapas até a consolidação final do projeto, a exemplo menciona-se:

- Projeto básico arquitetônico;
- Identificação do layout das edificações e equipamentos;
- Cálculo da potência instalada com base na ABNT NBR 5410/2004 e a SM04.13-00.01, no intuito de nortear os dados do dimensionamento do sistema fotovoltaico.
- Confecção, dimensionamento e análise de custos de um projeto fotovoltaico.

Para a realização deste projeto é importante seguir um passo a passo (metodologia), no qual sua elaboração possa ser dividida em fases e etapas, pois dá direcionamentos a serem seguidos e com isso nos confere uma maior economia de tempo na confecção da pesquisa, maior organização e por fim, uma elaboração com qualidade e credibilidade. Figura 1 apresenta sinteticamente cada uma das etapas seguidas até a consolidação do projeto final.

Figura 1 - Sequência do dimensionamento do sistema fotovoltaico.



Fonte: Autor, 2018.

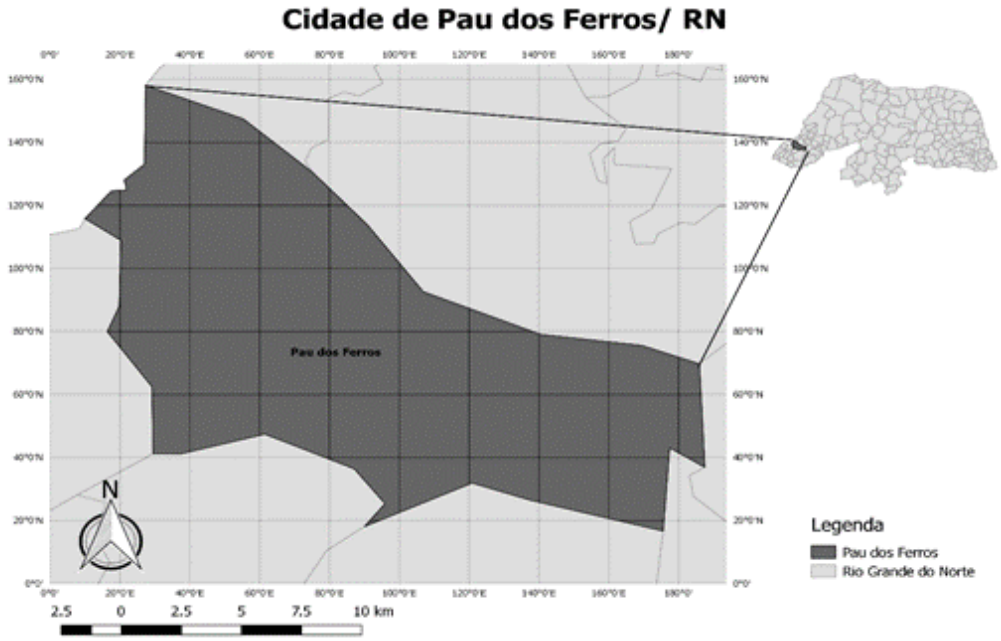
1.2.1 Localização da propriedade rural em estudo

A cidade de Pau dos Ferros está situada no Estado do Rio Grande do Norte, localizada a 392 quilômetros da capital Natal, na mesorregião do Oeste Potiguar, Figura 2. De acordo com dados do IBGE, em 2017 o município apresentava uma área total de 259,959 quilômetros quadrados[1], com população estimada em 2018 em 30.183 habitantes[2].

[1] Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/pau-dos-ferros/panorama. Acesso em 25 de janeiro de 2019.

[2] Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/pau-dos-ferros/panorama. Acesso em 25 de janeiro de 2019.

Figura 2 - Mapa do Rio Grande do Norte com a demarcação de Pau dos Ferros.



Fonte: Adaptado Qgis, 2019.

A propriedade rural usada como modelo nesta pesquisa está localizada na **Fazenda A**, Zona Rural, de Pau dos Ferros-RN, ilustrada pela Figura 3. A propriedade possui uma área total de 218.204,803 metros quadrados (21,820 hectares).

Figura 3 - Localização da propriedade rural usada como modelo.

Fonte: Adaptado Google Earth, 2019.

Inicialmente a propriedade fez parte de uma gleba com área de 872.820,616 metros quadrados (87,82 hectares), representada pela Figura 4, o qual a empresa pirâmides fez o seu desmembramento em parcelas menores. Dentre as porções que foram desmembradas usaremos a mostrada anteriormente, Figura 3, por alguns motivos, que são eles:

- Não possui edificações dentro dos seus limites;
- Possui um pequeno açude;
- Confronta com uma estrada carroçável.

Figura 4 - Gleba ao qual a propriedade pertencia.

Fonte: Adaptado Google Earth, 2019.

Destaca-se que esta propriedade usada como modelo tem pouca interferência no desenvolvimento dos modelos que serão apresentados a seguir. Tendo em vista esta característica os principais fatores que podem influenciar são: a irradiação local (condicionada à localização geográfica do estudo) quantidade de benfeitorias no local (casas, equipamentos elétricos rurais) quantidade de usuários, quantidade de animais, plantio, dentre outros. Com isso, este estudo prevê um projeto que possa servir de modelo para projetos futuros o qual é baseado na realidade local apresentada, tanto no que diz respeito a padrões arquitetônicos quanto na utilização dos equipamentos do campo, bases para o dimensionamento do sistema.

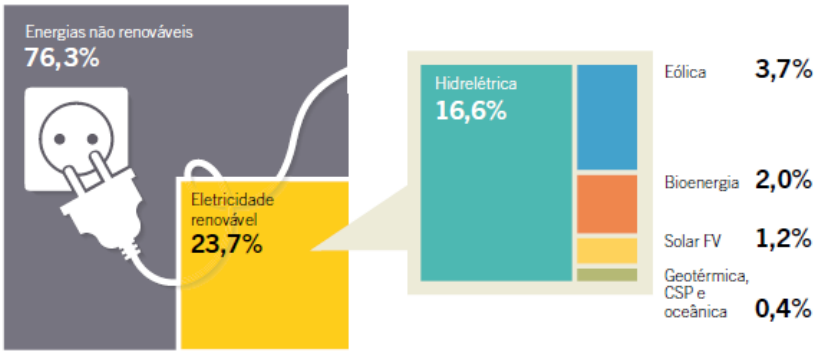
2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONCEITOS, PRINCÍPIOS E COMPONENTES BÁSICOS

2.1 MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL E NACIONAL

O setor elétrico mundial das energias renováveis passou nos últimos anos por grandes transformações ganhando importância na agenda energética mundial. De acordo com D'Avila, Ribeiro e Seike (2017), a importância dada nestes tipos de fonte aconteceu pós revolução industrial com aumento da demanda econômica, na dependência dos combustíveis fosseis e mais recentemente pelos desafios trazidos pelas mudanças climáticas.

Nessa perspectiva, a produção de eletricidade de forma limpa e barata têm se tornado importante. Cada vez mais os países direcionam esforços nesse âmbito, buscando sempre a preservação dos recursos naturais e uma menor dependência nas fontes fosseis de produção de eletricidade. Desta forma, segundo o Sebrae (2018) as energias renováveis representaram cerca de 23,7% de toda a eletricidade produzida no mundo. Destaca-se a hidroeletricidade que representou cerca de 16,6%, seguida pela eólica (3,7%), biomassa (2,0%), solar fotovoltaica (1,2%) e outras (0,4%), representados na Figura 5.

Figura 5 - Participação estimada de energias renováveis na produção mundial de eletricidade, final de 2015.



Fonte: REN 21, 2016.[3]

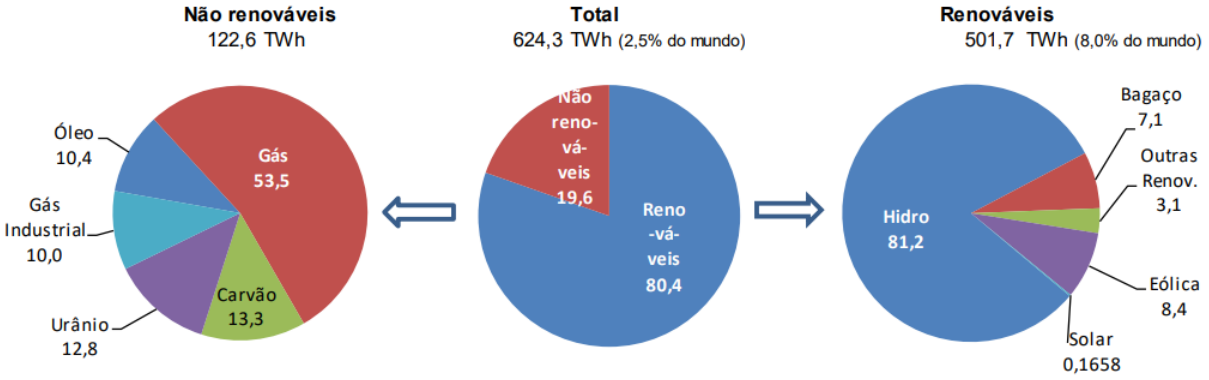
[3] Disponível em:

O rápido crescimento das fontes renováveis se deu principalmente por conta dos avanços tecnológicos no setor, proporcionando um aumento da eficiência dos sistemas, redução de custos, por boa parte dessas fontes serem de certa forma inesgotáveis e por incentivos por meio de políticas públicas e facilidades nos financiamentos desses sistemas geradores. (SEBRAE, 2018)

Com os avanços neste meio, o cenário mundial vem sofrendo alterações, o Japão e a Europa Ocidental eram historicamente os maiores produtores de energia elétrica por meio das fontes renováveis, porém, nos dias atuais os maiores produtores são: China, Japão e Estados Unidos. Não menos importante, os países emergentes, estão a cada ano aumentando seus esforços na produção de energia de fontes alternativas.

Nesse senário aparece o Brasil, possuindo sua matriz elétrica predominantemente renovável com destaque para a fonte hidráulica como a principal fonte de geração de energia no país. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (2018) as energias renováveis chegaram em 2017 a 80,40% de participação na matriz brasileira. A Figura 6 apresenta as parcelas representativas das fontes na oferta interna de energia elétrica em 2017.

Figura 6 - Oferta interna de energia elétrica – 2017.



Fonte: Resenha Energética Brasileira, Ministério de Minas e Energia, 2018.[4]

---

http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_KeyFindings_po_01.pdf. Acesso em 05 de fevereiro de 2019.

[4] Disponível em: http://www.eletronuclear.gov.br/Imprensa-e-Midias/Documents/Resenha%20Energética%202018%20-MME.pdf. Acesso em 05 de fevereiro de 2019.

Destaca-se que a cada ano os percentuais das fontes renováveis vêm aumentando, a energia eólica em 26,5%, 16,2% para o gás natural e a geração solar em 876%, em relação ao ano anterior. A energia solar, apesar de alta taxa de crescimento, ainda tem pouca significância na matriz nacional. Saiu de 0,01% (2016) para 0,13% (2017) da oferta interna de energia elétrica, Figura 7.

Figura 7 - Oferta interna de energia elétrica (OIEE) em 2018.

ESPECIFICAÇÃO	GWh		17/16 %	Estrutura (%)	
	2016	2017		2016	2017
HIDRÁULICA	380.911	370.906	-2,6	61,5	59,4
BAGAÇO DE CANA	35.236	35.655	1,2	5,7	5,7
EÓLICA	33.489	42.373	26,5	5,4	6,8
SOLAR	85	832	875,6	0,01	0,13
OUTRAS RENOVÁVEIS (a)	15.805	15.617	-1,2	2,6	2,5
ÓLEO	12.103	12.733	5,2	2,0	2,0
GÁS NATURAL	56.485	65.593	16,1	9,1	10,5
CARVÃO	17.001	16.257	-4,4	2,7	2,6
NUCLEAR	15.864	15.739	-0,8	2,6	2,5
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS (b)	11.920	12.257	2,8	1,9	2,0
IMPORTAÇÃO	40.795	36.355	-10,9	6,6	5,8
TOTAL (c)	**619.693**	**624.317**	**0,7**	**100,0**	**100,0**
Dos quais renováveis	*506.320*	*501.739*	*-0,9*	*81,7*	*80,4*

Fonte: Resenha Energética Brasileira, Ministério de Minas e Energia, 2018.[5]

Nessa perspectiva, o cenário elétrico nacional possui destaque para as fontes renováveis em comparação aos percentuais mundiais. Segundo D'Avila, Ribeiro e Seike (2017), se dá justamente pela disponibilidade de recursos naturais, ventos de excelente qualidade, alta irradiação solar e grandes reservas de água doce.

Nesse sentido, é notória a preocupação nacional pela diversificação da sua matriz elétrica com o uso das fontes alternativas, porém, sobretudo nos últimos anos, devido a acidentes em barragens no país e por grandes períodos de estiagem o setor das hidrelétricas vem sofrendo queda em comparação as outras fontes.

[5] Disponível em: http://www.eletronuclear.gov.br/Imprensa-e-Midias/Documents/Resenha%20Energética%202018%20-MME.pdf. Acesso em 05 de fevereiro de 2019.

Sebrae (2018) nos mostra que as fontes alternativas, especialmente, a solar fotovoltaica, devem proporcionar uma solução para a diversificação da elétrica nacional, como uma forma de energia limpa, segura, economicamente viável e abundante no país. Apresentando-se como uma forma crucial para o Brasil atingir suas necessidades atuais e futura de energia.

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Inicialmente, tem-se que “a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica” (ANEEL, 2002, pg. 23). Em se tratando da sua conversão direta da energia solar em energia elétrica, Aneel (2002) comenta que essa ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico, caracterizado pelo surgimento de uma diferença de potencial provocada pela junção de dois metais, em condições específicas, e o fotovoltaico, descoberta de Edmond Becquerel em 1839, onde os fótons contidos na luz solar ocasionam a excitação dos elétrons, estimulando-os a se movimentarem, e desta forma são convertidos em energia elétrica por meio do uso de células solares.

Comenta-se ainda que a quantidade de radiação incidente na superfície terrestre, é função de n’s fatores que, ainda de acordo com a Aneel (2002), são circundados pelas condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), da latitude do local, e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). A constante solar (I_0) equivale a aproximadamente 1.367 W/m², é o valor de irradiação antes de penetrar na atmosfera terrestre. Ao penetrar na atmosfera sofre interferência pelo ar, pela água contida nas nuvens e divide-se em radiação direta e indireta. Seu valor após passar por tais obstáculos situa-se em torno de 1000 W/m². Todavia, estima-se que a energia solar que chega até a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial. (PINHO E GALDINO, 2014)

Se tratando do efeito fotovoltaico, ou seja, a conversão direta da energia solar em energia elétrica, principal foco deste estudo, Nascimento (2017, pag. 6) comenta que para o caso o efeito fotovoltaico, os fótons contidos na luz solar são convertidos

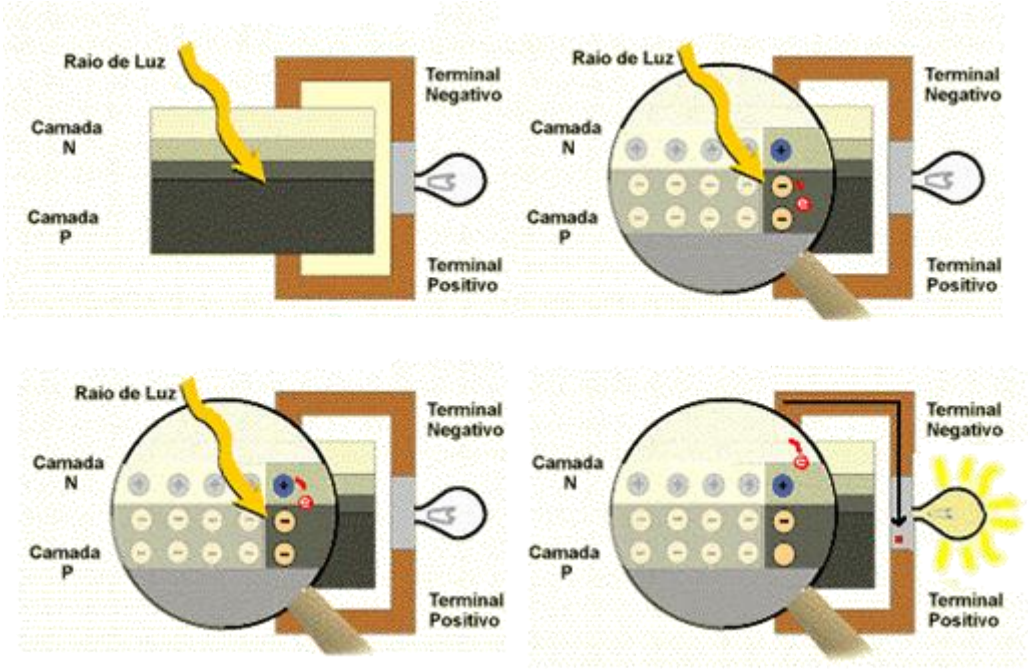
em energia elétrica por meio do uso de células fotovoltaicas. Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica destaca-se o silício.

Nascimento (2004, p.14) complementa afirmando que “Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenômeno é denominado “Efeito Fotovoltaico”.

Neste sentido, as células fotovoltaicas são fabricadas por materiais classificados como semicondutores, que tem como característica de possuir uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução vazia, na temperatura do zero absoluto (0 K). Na tabela periódica, em geral os semicondutores fazem parte dos grupos 14 a 16, menciona-se como principais: carbono (C), silício (Si) germânio (Ge), arsênio (As), fósforo (P), selênio (Se) e telúrio (Te). (D’AVILA; RIBEIRO; SEIKE, 2017). Contudo, ao receber os fótons contidos na radiação solar os elétrons nos semicondutores sofrem excitações e produzem a corrente elétrica, todavia, essa perturbação acaba e o semicondutor volta ao estado inicial. Para podermos aproveitar a corrente e tensão elétrica gerada é necessária aplicar um campo elétrico, a fim de separar os portadores, o que se consegue através do que é chamado de junção pn.

De acordo com Pinho e Galdino (2014), para construí-la, é preciso introduzir impurezas nos semicondutores, chamada de dopagem, tornando-os do tipo-N e tipo-P. Incialmente o primeiro mantem-se com carregado negativamente (elétrons livres no elemento) e o segundo carregado positivamente (falta de elétrons). Desta forma, na construção de uma célula fotovoltaica acontece a união destes dois semicondutores, chamada anteriormente de junção pn, onde os elétrons livres do semicondutor N migrarão até o semicondutor P, com isso, ocupar os espaços onde se tem falta de elétrons. Desta forma, quando há incidência de luz sobre o módulo, os fótons chocam-se com os elétrons da estrutura do semicondutor resultando na movimentação de elétrons, ou seja, energizando-os. A Figura 8 ilustra uma representação esquemática da junção pn quando há incidência de luz.

Figura 8 - Desenho esquemático da junção pn.



Fonte: Site Cresesb, 2008[6].

Na Figura 8 representa de forma simplificada um exemplo prático de aplicação das células fotovoltaicas na geração de energia com finalidade de acender uma lâmpada a partir dos princípios abordados neste tópico sobre a junção pn. De acordo com a Absolar (2018) do ponto de vista prático podemos mencionar pontos importantes na aplicação desta fonte: no âmbito elétrico, contribui para diversificação da matriz elétrica, aumento da segurança no fornecimento, redução de perdas e alívio de transformadores e alimentadores; sob a ótica ambiental, há a redução da emissão de gases do efeito estufa, preservação do meio ambiente; no ponto de vista socioeconômico, a produção de energia solar fotovoltaica contribui com a geração de empregos, o aumento da arrecadação e o aumento de investimentos no setor.

[6]Disponível em: https//www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321. Acesso em 12 de fevereiro de 2019.

2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO

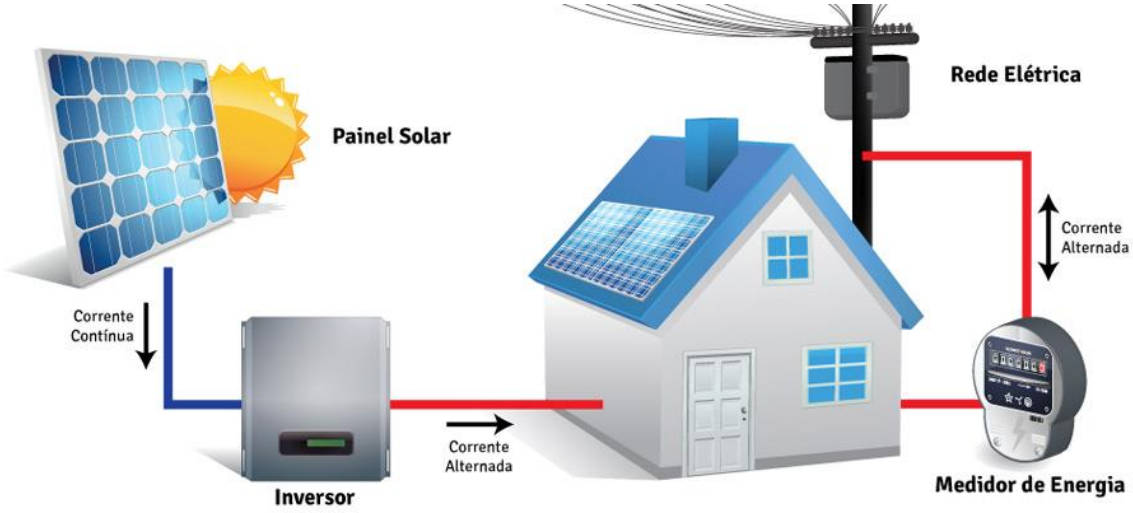
Existem três tipos básicos de sistemas fotovoltaicos: Sistemas Isolados, Sistemas Híbridos, e os Sistemas Conectados à Rede.

Lana *et al*. (2016) menciona que os sistemas isolados são sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades isoladas da rede de distribuição elétrica. E dividem-se ainda nos que possuem armazenamento (utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, em pequenos aparelhos portáteis) e nos que não possuem armazenamento (utilizado frequentemente em bombeamento de água).

Sistemas Híbridos são sistemas em que há associação de outras fontes de geração ao fotovoltaico. O seu maior benefício é proporcionar eletricidade (armazenada nas baterias), na escassez da radiação solar. No entanto, é apontado como um sistema complexo, já que necessita de um condicionador de potência, que vai acionar automaticamente os diversos tipos de geração para suprir a demanda e integrar diversas formas de produção de energia elétrica, como motores à diesel ou gás, ou por geradores eólicos (LANA *el al*. 2016).

Já os sistemas conectados à rede são aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. Com efeito, o presente estudo aplica seus conceitos e metodologias exclusivamente aos sistemas conectados à rede, desta forma, será representado apenas as partes que compõe esse sistema. A Figura 9 ilustra de maneira simples os componentes básicos que compõem os sistemas conectados à rede.

Figura 9 - Sistemas conectados à rede.



Fonte: T8M Energia,2019.[7]

2.4 COMPONENTES E FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS CONECTADOS À REDE

De maneira geral, os sistemas conectados à rede são constituídos por um bloco gerador e um bloco de condicionamento de potência. Nesse sentido, o bloco gerador consiste basicamente dos arranjos fotovoltaicos, que por sua vez, são representados pelos módulos fotovoltaicos em diferentes associações, os cabeamentos elétricos que os interligam as estruturas de suporte. Por fim, o bloco de condicionamento de potência consiste dos conversores *cc-ca*, inversores e dos dispositivos de proteção, supervisão e controle.

2.4.1 Módulos Fotovoltaicos

Alvarenga (2001), discorre que a célula fotovoltaica, ou módulos solares, é o componente básico do gerador fotovoltaico. É na célula que se dá a conversão da energia radiante do sol em energia elétrica. Usualmente, as células têm a forma de

[7] Disponível em: https://t8menergiasolar.com.br/sistemas-conectados-a-rede-grid-tie/. Acesso 26 de março de 2019.

pequenos discos ou retângulos e são fabricadas em grande escala e apresentam características elétricas distintas conforme os materiais utilizados. Geram individualmente uma quantidade de energia muito pequena, geralmente em tensões muito baixas, da ordem de 0,4 a 0,5 Volts e por essa razão são associados em série ou em paralelo[8]. A Figura 10 ilustra o conjunto de dois módulos fotovoltaicos.

Figura 10 - Módulos fotovoltaicos.

Fonte: Site EDP, 2019.[9]

Nessa perspectiva Pinho e Galdino (2014) mostram que o número de células conectadas em um módulo e seu arranjo (série e/ou paralelo) depende da tensão de utilização e da corrente elétrica desejada. Deve-se levar em consideração o cuidado com a seleção das células a serem unidas no momento da fabricação do módulo, devido às suas características elétricas. A não conformidade dessas características pode levar a fabricação de células com baixa qualidade, o que pode ocasionar a diminuição da eficiência global do módulo fotovoltaico.

De maneira geral os módulos fotovoltaicos são identificados por sua potência elétrica de pico (Wp). De acordo CRESESB (2008), tão necessário quanto este parâmetro, existe outras características elétricas que melhor caracteriza a

[8] A associação das células fotovoltaicas em série consiste em agrupar o maior número elementos onde soma-se as tensões de cada célula. Já ao conectar as células em paralelo, soma-se as correntes de cada módulo permanecendo inalterada a tensão da célula.

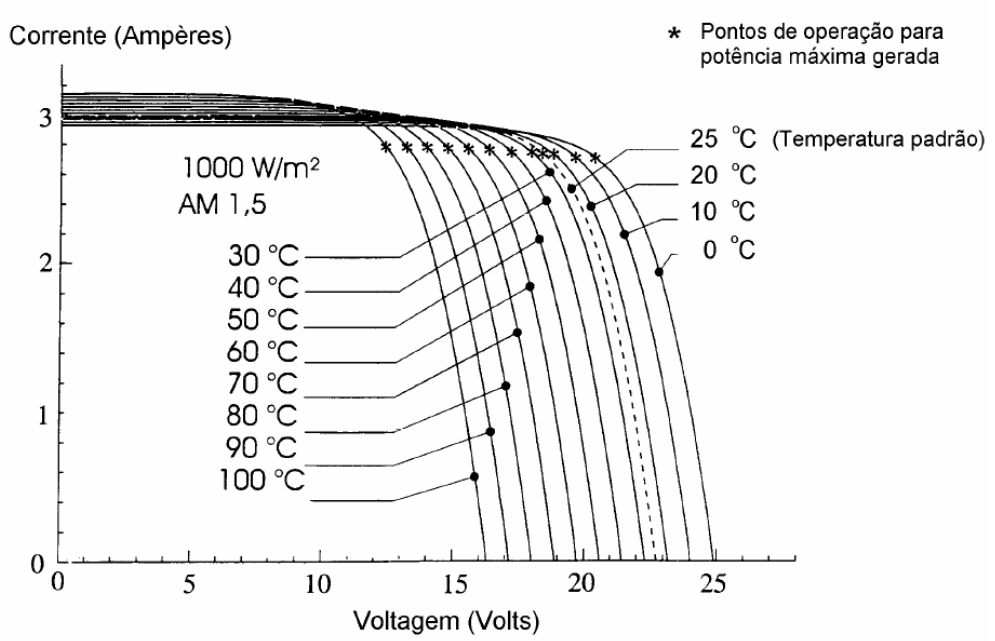
[9] Disponível em: https://www.edp.pt/particulares/comunidade/a-acontecer/como-funciona-um-módulo-fotovoltaico/. Acesso 27 de março de 2019.

funcionalidade do módulo. As principais características elétricas dos módulos fotovoltaicos são as seguintes:

- *Voltagem de Circuito Aberto (V_{oc}):* tensão máxima que o módulo fornece em seus terminais, sem a presença de carga (em vazio);
- *Corrente de Curto Circuito (I_{sc}):* Corrente máxima que um módulo fotovoltaico pode fornecer, quando seus terminais estão em curto circuito, sob condições padrões de teste;
- *Potência Máxima (P_{mp}):* Potência gerada pela maior corrente e tensão do sistema;
- *Voltagem de Potência Máxima (V_{mp}):* é a tensão máxima gerada pelo módulo;
- *Corrente de Potência Máxima (I_{mp}):* corrente máxima que um módulo fotovoltaico pode fornecer a uma carga.

Deve-se mencionar que tais características serão abordadas no decorrer deste trabalho, principalmente nos resultados desta pesquisa. Em se tratando dos fatores que afetam nas características elétricas de um módulo, Cresesb (2008) menciona sobre a Intensidade Luminosa e a Temperatura das Células como sendo os principais. Nesse sentido, A Figura 11 representa o aumento da temperatura na célula reduz sua eficiência e os pontos de operação para potência máxima gerada.

Figura 11 - Efeito causado pela temperatura na célula.



Fonte: Cresesb (2008).

2.4.1.1 Efeito da Temperatura

Alguns cálculos devem ser realizados quanto ao efeito da temperatura sobre os módulos. Nesse sentido, será utilizado os procedimentos descritos por Pinho e Galdino (2014):

- Coeficiente (β) de variação da tensão de circuito aberto (V_{oc}) com a temperatura:

$$\beta = \frac{\Delta V_{oc}}{\Delta T} \tag{1}$$

Em que:

$$V_{oc}(T) = V_{oc(stc)} \cdot \left(1 + \beta \cdot (T - 25)\right) \tag{2}$$

- Coeficiente (α) de variação da corrente de curto-circuito com a temperatura.

$$\alpha = \frac{I_{sc}}{\Delta T} \tag{3}$$

- Coeficiente (γ) de variação da potência máxima (potência de pico) do módulo com a temperatura:

$$\gamma = \frac{\Delta P_{mp}}{\Delta T} \tag{4}$$

Nesse sentido, a definição do ponto de máxima potência (P_{mp}) permite escrever a expressão seguinte, objetivando sua variação com a temperatura, a partir das variações de (I_{mp}) e (V_{mp}). Com isso, considera-se que o coeficiente de temperatura (α) para (I_{sc}) e para (I_{mp}) são iguais, e que o coeficiente de temperatura do (V_{mp}) é $\left(\beta_{vmp}\right)$. Portanto:

$$P_{mp(T)} = V_{mp(T)} \cdot I_{mp(T)} = V_{mp_{stc}} \cdot \left(1 + \beta_{vmp} \cdot \Delta T\right) \cdot I_{mp_{stc}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \tag{5}$$

$$P_{mp(T)} = V_{mp_{stc}} \cdot I_{mp_{stc}} \left(1 + (\alpha + \beta_{vmp}) \cdot \Delta T\right) \tag{6}$$

Já o coeficiente de variação da potência máxima do módulo com a temperatura, será:

$$\gamma = \alpha + \beta_{vmp} \tag{7}$$

Para que se possa realizar um cálculo simplificado da temperatura de operação de um módulo fotovoltaico em condições ambientais pode-se usar a

equação seguinte, menciona-se que esta fórmula é bastante usual na literatura e que a usaremos no dimensionamento do sistema fotovoltaico desta pesquisa:

$$T_{mod} = T_{amb} + K_t \cdot G \tag{8}$$

Em que:

$T_{mod} \rightarrow temperatura\ do\ módulo, em\ (°C)$

$T_{amb} \rightarrow temperatura\ ambiente, em\ (°C)$

$G \rightarrow irradiância\ incidente\ sobre\ o\ módulo, em\ \left({}^{W}/_{m^2}\right)$

$K_t \rightarrow coeficiente\ térmico\ para\ o\ módulo$[10]$, em\ \left({}^{°C}/_{W.m^2}\right)$

Pinho e Galdino (2014) destacam que quando as condições padrão de ensaio (STC) não representam as características reais, as normas definem uma temperatura nominal para a operação das células nos módulos, nas quais, as características elétricas podem se aproximar do que se tem na realidade. Cada módulo apresenta uma temperatura nominal para suas células, essa temperatura é obtida quando o modulo é exposto a uma irradiação de 800 W/m² em um ambiente com temperatura do ar a 20°C e com a ação do vento no valor de 1 m/s. Nesse sentido, tem-se:

$$K_t = \frac{N_{oct} - 20}{800} \tag{9}$$

Em que:

$N_{oct} \rightarrow temperatura\ nominal\ de\ operação\ da\ célula$

[10] De acordo com Pinho e Galdino (2014) pode ser adotado um valor padrão de 0,03, se não tiver conhecimento sobre o mesmo.

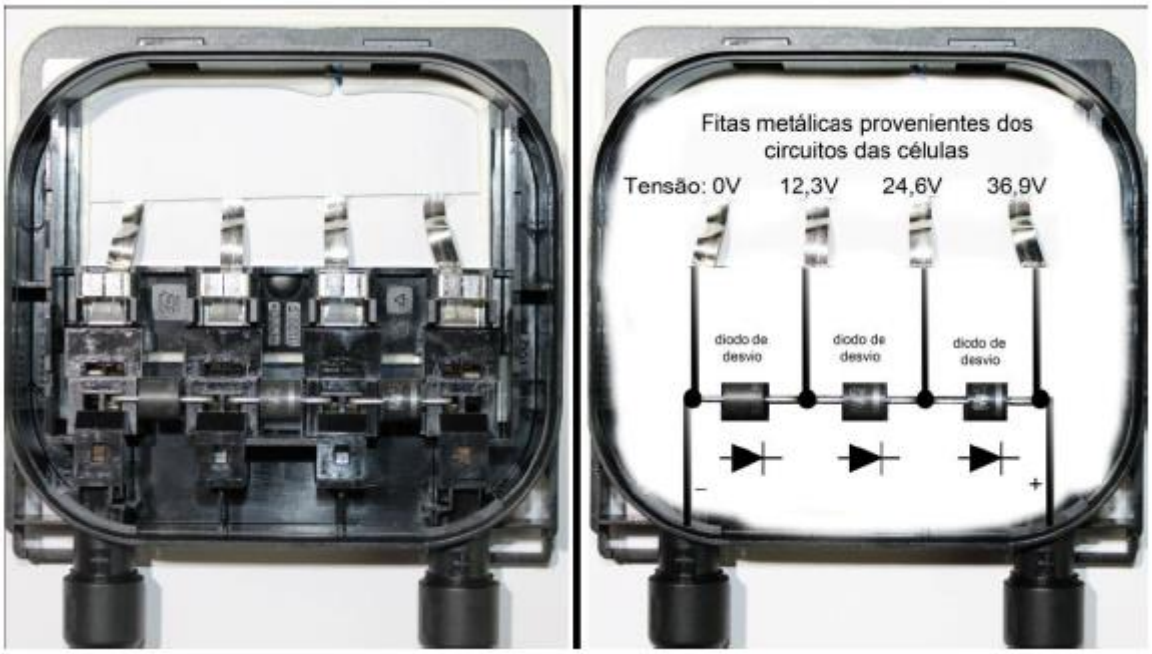
2.4.2 Caixa de Conexões

Em geral, são os dispositivos que situam após os módulos fotovoltaicos. Nessas caixas são os locais onde são abrigados os diodos de desvio (by-pass) e as conexões dos conjuntos de células em série. Segundo a assertiva de Pinho e Galdino (2014) alguns módulos não têm caixa de conexões ou ela não é acessível, saindo os cabos diretamente do módulo laminado ou de uma caixa lacrada.

Em contrapartida, de acordo com Souza e Passari (2016) nem todos os modelos de módulos vêm com conectores, os modelos de menor potência por exemplo. Nesse sentido alguns modelos possuem apenas caixa de conexão. Nesse sentido, o projetista ao escolher os módulos de determinado fabricante deve se atentar as características do modelo.

A caixa deve possuir um bom isolamento para a entrada de umidade e de pequenas partículas, também, deve possuir proteção anticorrosiva. A Figura 12 ilustra um exemplo de caixa de conexão de um módulo com 60 células.

Figura 12 - Caixa de conexões.



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

2.4.3 Terminais

Os cabos terminais dos módulos fotovoltaicos devem ser dimensionados de modo a terem isolamento adequado para a máxima tensão do sistema, sem ocorrência de sobrecarga, devem também possuir resistência a intemperes. Os cabos serão providos de sistema de engate rápido (conectores do tipo MC4), Figura 13, com grau de proteção IP67.

Figura 13 - Conectores de engate rápido MC4

Fonte: Damia Solar, 2016.[11]

Nesse sentido, para a instalação elétrica de um sistema fotovoltaico, deve-se apenas usar cabos que cumpram os requisitos para esta aplicação. E nesta perspectiva, de acordo com Carneiro (2009) os terminais são divididos em cabos de fileira, cabo principal CC e cabo do ramal CA.

[11] Disponível em: https://www.damiasolar.com/apresentar/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/conectores-para-paineis-solares-e-bateria_1. Acesso em 26 março de 2019.

2.4.4 Diodo de desvio (by-pass)

Segundo a assertiva de Pinho e Galdino (2014) para evitar a ocorrência de *pontos quentes* mostrados no item 2.4.1.2 os módulos são normalmente protegidos com diodo de desvio. Tem como principal função oferecer um caminho alternativo para a corrente, assim, limitam a dissipação de potência no conjunto de células sombreadas.

Nesse sentido, tem importância no sentido de reduzirem simultaneamente a perda de energia e o risco de dano irreversível das células afetadas, que a princípio tornariam os módulos inutilizáveis.

Como mencionado nesta pesquisa, em geral, os módulos fotovoltaicos são formados por conjuntos de células ligadas em série, logo, estarão sujeitas aos efeitos de sombreamento. Para amenizar os efeitos, são usados diodos by-pass a alguns conjuntos de células, geralmente entre 15 e 30 células para cada diodo usado. Devendo o diodo apresentar especificações condizentes com as das células, saber, corrente da célula (COUTINHO,2016).

2.4.5 Diodo de bloqueio

Outro componente de proteção importante usado é o diodo de bloqueio, utilizado em conexões de módulos ou em conjuntos série de módulos em paralelo, e tem a função de impedir o fluxo de corrente de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor.

Segundo Carneiro (2009) outro ponto importante do diodo de bloqueio está nos sistemas que se utilizam de baterias para o armazenamento, nesses sistemas, quando a tensão no módulo é maior que à tensão na bateria, o regulador de carga evita que a bateria venha a descarregar através do módulo, evitando desta forma o que chama-se de *corrente inversa*, a função do diodo de bloqueio está em impedir este tipo de corrente.

2.4.6 Fusíveis de proteção da série fotovoltaica

Segundo Braga (2008) os fusíveis fotovoltaicos são os responsáveis por proteger os equipamentos e condutores correntes altas provocadas por curto-circuito, consumo elevado ou falhas no aterramento. Pinho e Galdino (2014) complementam que o fusível é o componente responsável por proteger a série fotovoltaica do fluxo de corrente reversa de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor. Nesse sentido, deve ser dimensionado para correntes menores que a corrente reversa suportável pelo módulo. A Figura 14 ilustra um modelo de fusível disponível no mercado nacional e de uso apropriado para os sistemas solares.

Figura 14 - Fusível de proteção da série fotovoltaica.

Fonte: Siba fusíveis, 2019.[12]

Os fusíveis devem ser colocados na saída de cada série tanto no polo positivo quanto no polo negativo. Os fusíveis usados para sistemas solares devem ser apropriados para a operação em corrente contínua. Os dispositivos de funcionam em corrente alternada, a princípio, funcionarão bem, mas, com o passar dos anos, apresentarão problemas (BRAGA, 2008).

[12] Disponível em: http://www.siba.com.br/fotovoltaicos.html. Acesso 26 de março de 2019.

2.4.7 Inversores

A grande maioria dos sistemas fotovoltaicos realiza a conversão da CC produzida em CA, para permitir que o sistema fotovoltaico se conecte na rede elétrica. O inversor é o disposto eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (CA) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente continua (CC). Segundo Goetze (2017) isso acontece por conta de dispositivos semicondutores que chaveiam a entrada CC, o inversor produz uma saída CA com amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequadas às cargas a serem alimentadas. A Figura 15 apresenta um inversor utilizado nos sistemas solares de energia.

Figura 15 - Inversor fotovoltaico Fronius.

Fonte: Instala sol energia solar, 2019.[13]

Pinho e Galdino (2014) mencionam que no caso de sistemas fotovoltaicos os inversores são divididos de acordo com sua aplicação em: SFIs e SFCRs. Nesse sentido, os inversores para SFCRs além de possuírem as mesmas características dos SFI, devem possuir características específicas para que fiquem de acordo as exigências das concessionárias locais evidenciadas nos quesitos: segurança e qualidade de energia.

[13] Disponível em: https://instalasol.com.br/produto/inversor-fotovoltaico-on-grid-fronius-3kw/. Acesso em 26 de março de 2019.

2.4.7.1 Características dos inversores

De maneira geral as características que são mais importantes nos inversores são:

- Forma de onda e distorção harmônica <5%;
- Eficiência na conversão de potência;
- Potência nominal de saída;
- Potência de surto;
- Taxa de utilização;
- Tensão de entrada;
- Tensão de saída;
- Regulação de tensão;
- Frequência da tensão de saída;

De acordo com Pinho e Galdino (2014) dentre as características mais importantes a forma da onda geralmente é quem dita a qualidade e custo dos inversores. Dependendo do método de conversão e filtragem utilizado para eliminar os harmônicos indesejáveis resultantes da conversão.

2.4.7.2 Inversores para SFCRs

Segundo Pinho e Galdino (2014) pode-se classificar os inversores para SFCRs da seguinte forma:

- *Inversores Centrais:* são os de grande porte, em geral trifásicos, com potência numa faixa que vai de centenas de kWp até MWp, com grande aplicação nas usinas fotovoltaicas.
- *Inversores Multistring:* neste caso podem ser monofásicos ou trifásicos, bastante utilizado em instalações urbanas. Tem potência na faixa de dezenas de kWp.
- *Inversores de string:* inversores monofásicos, mais utilizados em na microgeração, com potência máxima de 10kWp.

Nessa perspectiva, a eficiência de um inversor para SFCRs pode ser expressa pelas seguintes equações, descritas por Pinho e Galdino (2014):

$$\eta_{conv} = \frac{P_{c.a}}{P_{c.c}} \tag{10}$$

$$\eta_{spmp} = \frac{P_{c.c}}{P_{PM}} \tag{11}$$

$$\eta_{tot} = \eta_{conv} \cdot \eta_{spmp} \tag{12}$$

Tem-se:

$P_{c.c} \rightarrow potência\ instantânea\ c.c\ na\ entrada\ do\ inversor, em\ (W)$

$P_{c.a} \rightarrow potência\ instantânea\ c.a\ na\ entrada\ do\ inversor, em\ (W)$

$P_{MP} \rightarrow potência\ instantânea\ máxima\ do\ painel\ fotovoltaico\ nas\ condições\ de$

$temperatura\ e\ irradiância\ vigentes, em\ (W);$

$\eta_{conv} \rightarrow eficiência\ de\ conversão\ do\ inversor, em\ (\%)$

$\eta_{spmp} \rightarrow eficiência\ do\ inversor\ no\ seguimento\ do\ ponto\ de\ máxima\ potência, em(\%)$

$\eta_{tot} \rightarrow eficiência\ total\ do\ inversor, em\ (\%)$

2.4.8 Proteção

São essenciais para o sistema fotovoltaico, são os responsáveis pela preservação do sistema e proteção por contato direto e indireto dos usuários. Segundo o Manual e Catálogo do eletricista da Schneider protegem a instalação contra possíveis acidentes decorrentes de falhas nos circuitos, desligando-os assim que a falha for detectada, existindo diversos dispositivos auxiliares que objetivam reduzir a possibilidade de falhas.

Pinho e Galdino (2014) demostram que o correto dimensionamento e a utilização correta destes dispositivos podem reduzir ou até eliminar falhas no sistem a. De acordo o autor, devido a avanços tecnológicos no setor fotovoltaico boa parte

dos dispositivos são integrados, a saber, dos dispositivos anti-ilhamento presentes em boa parte dos inversores.

Nessa perspectiva, deve-se dimensionar e usar nos sistemas fotovoltaicos além dos dispositivos integrados outros que venham proteger o sistema. Para os dispositivos de proteção, Camargo (2017, p.62) "*os dispositivos de proteção comumente utilizados nesse tipo de instalação são os dispositivos de proteção contra surto (DPS) e disjuntores, tanto para a parte CA quanto para a parte CC do circuito*". Além de sistemas de aterramento e de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).

2.5 RESOLUÇÕES E NORMATIZAÇÕES

2.5.1 Resolução N°482 de 2012.

A resolução 482 da ANEEL foi o marco regulatório no Brasil, beneficiando a sociedade e garantindo que as redes concessionarias de energia elétrica aceitem a entrada de sistemas individuais de energia em suas redes de distribuição de energia. A partir desta resolução a micro e minigeração são regulamentadas no sistema elétrico brasileiro, essas formas de produção consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que se utilizam de fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas a rede por meio da instalação de unidades consumidoras.

Nesse sentido, Silva (2013) descreve que para os sistemas grid-tie o sistema de geração solar não utiliza de banco de baterias, pois a própria energia elétrica é utilizada como meio de armazenamento através do sistema de créditos de energia, regulamentado pela resolução 482 de 2012. Com isso, toda a energia gerada pelo sistema é imediatamente injetada na rede elétrica das concessionarias brasileiras, sendo consumida de forma imediata ou exportada, de acordo com os níveis de geração e consumo instantâneos.

Com isso, permitiu aos consumidores realizar a troca da energia gerada com a da rede elétrica, criando as regras e o sistema que compensa o consumidor pela energia elétrica injetada na rede.

Na regulamentação do processo de injeção e consumo de energia elétrica, criou-se o sistema de compensação de energia elétrica. Nele, toda a energia ativa injetada na rede pelo sistema gerador de uma unidade consumidora, é emprestada gratuitamente à distribuidora local e posteriormente compensada sobre o consumo de energia elétrica ativa, dessa mesma unidade consumidora ou de outra (SANTANA, 2016).

Destaca-se que no ano de 2015 os sistemas de micro e minigeração, passaram a ser regulamentados pela *resolução N° 687 de 2015* que vem alterar a *resolução normativa N° 482 de 2012*. Desta forma, a *resolução N° 687 de 2015* passa a estabelecer as condições gerais para o acesso a micro e minigeração distribuídas, aos sistemas de distribuição e o sistema de compensação de energia elétrica. Destaca-se que a resolução veio com perspectivas de melhoras em relação à resolução nº 482 de 2012.

Pode-se mencionar como mudanças fundamentais as características dos sistemas geradores de micro ou mini usinas e o sistema de compensação de crédito. Segundo Carvalho (2017) a Resolução N° 687/2015 veio para ampliar incentivos ao consumidor para que o mesmo venha a gerar uma quantidade de eletricidade superior à quantidade consumida no período, obtendo crédito que pode ser usado para reduzir a fatura dos meses seguintes, passando a ter validade de 60 meses e ainda podendo ser usada para reduzir faturas do mesmo titular situadas em outro local, desde que da mesma distribuidora, denominada de “autoconsumo remoto”.

Dentre as mudanças a Aneel (2015) define os sistemas microgeração, minigeração distribuída e o sistema de compensação como:

> I – microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da Aneel, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
>
> II – minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potencia instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme

> regulamentação da Aneel, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
>
> III – sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa.

2.5.1 Normatização

Pode-se dizer que as normas são documentos criados de acordo com as necessidades da sociedade por um órgão reconhecido, e que são formulados por um conjunto de critérios para que possam ser usadas como regras, diretrizes e definições. Neste contexto, as normas técnicas promovem a difusão tecnológica, consolidando e estabelecendo preceitos consensuais entre todas as partes envolvidas. De acordo com a ISO/GUIA 2 (ABNT, 2006) as comissões de estudos a ela relacionadas reúnem agentes especializados nas mais diferentes matérias, que interagem continuamente na troca do conhecimento. Fica claro que as normas são de extrema importância para a sociedade, pois instituem metodologias e padrões a serem seguidos, resultando desta forma em produtos e serviços com parâmetros de qualidade para as diversas problemáticas da sociedade.

Considerando a assertiva de Santos (2012), as normas têm enorme e positiva importância para a maioria dos aspectos de nossas vidas. São inúmeros os privilégios trazidos pela normalização para a sociedade, mesmo que muitas vezes ela não se dê conta disso. A exemplo pode-se mencionar que a normalização traz benefícios técnicos, econômicos e sociais nos setores da vida e do trabalho.

Cruzando os dados obtidos na bibliografia no que se refere ao conceito e importância das normas, pode-se dizer que na literatura técnica relacionada acima ambos apresentam conceitos e ideias que estão correlacionadas entre si, ressaltando a importância do uso das normas perante a sociedade.

Nessa perspectiva, conforme os conceitos evidenciados acima, os projetos de sistemas fotovoltaicos devem ser confeccionados seguindo atribuições e

padronizações das normas das associações normatizadoras, concessionária local e órgão competentes, desta forma, conferindo um padrão metodológico e de qualidade aos projetos. Na Tabela 1, por exemplo, consegue-se destacar algumas normas que devem ser consultadas no momento de elaboração do projeto do sistema fotovoltaico.

Tabela 1 - Normas para projetos de sistemas fotovoltaicos.

NBR 5410:2004	Instalações elétricas em baixa tensão.
SM04.13-00.01	Fornecimento de Energia elétrica em baixa tensão individual.
NBR 16149:2013	Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
NBR 16150:2013	Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade.

Fonte: Autor, 2018.

Percebe-se na Tabela 1 que existem diversas normas a serem consultadas no momento de confecção de um projeto de geração através de energia solar. No presente trabalho destaca-se o uso da ABNT NBR – 5410/200, SM04.13-00.01 da Cosern (norma da concessionaria local), NBR 16149:2013 e NBR 16150:2013.

Nessa perspectiva, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), vem ao longo dos anos se empenhando no sentido de elaborar normas técnicas referentes aos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Desta forma, no ano de 2013 surgiram duas normas nesse segmento: a NBR 16149 de 03/2013 (Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição) que estabelece as recomendações especificas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica, bem como, seus requisitos; e a NBR 16150 de 03/2013 (Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade) que vem tratar sobre as verificações nos equipamentos utilizados no sistema estão em conformidade com a norma anteriormente mencionada.

Outro documento normativo importante de acordo com RUTHER (2004) para a instalação dos sistemas solares integrados à rede elétrica seria a norma ABNT NBR 5410/2004, que normatiza as instalações elétricas de baixa tensão e que tem como objetivo dispor a eletricidade fornecida ao usuário de forma adequada e eficiente, de maneira segura e eficaz.

A NRB – 5410/2004 é tida como a principal norma do serviço de eletricidade de baixa tensão no país, nela estão referenciados parâmetros e condições mínimas para projetos e execuções de sistemas elétricos em seus mais diversos âmbitos de aplicação e condições necessárias para um perfeito funcionamento dessas instalações. De acordo com a NBR – 5410 (ABNT, 2004) os principais objetivos da norma é estabelecer as condições mínimas a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, e desta maneira garantir a segurança de pessoas e animais, bem como, o funcionamento adequado da instalação e a conservação de bens privados ou públicos. Nesse sentido, a NBR – 5410 aplica-se a diversos locais, a exemplo pode-se mencionar "[...] às instalações elétricas de edificações, qualquer que seja seu uso (residencial, comercial, público, industrial, de serviços, agropecuário, hortigranjeiro, etc.) incluindo as pré-fabricadas; às instalações novas e a reformas em instalações existentes[...]". (ABNT, 2004, p.1).

Desse modo, destaca-se alguns pontos relevantes da aplicação da NBR – 5410 em uma instalação: Localização, altura e tipo de tomadas e interruptores, tomadas de uso geral e específico seguindo os critérios e tipos de equipamentos a serem alimentados e divisão dos circuitos de acordo com seu uso e carga, uso de disjuntores termomagnéticos e suas funções de proteção com sobrecargas e curto-circuito perante a instalação, interruptor diferencial residual e suas funções de proteção sobre contato direto e indireto, projeto elétrico, padrão de cores dos condutores e eletrodutos, dimensionamento e tipos de condutores e eletrodutos, previsão de carga dos circuitos, instalações de luminárias, potência de iluminação, e etc.

Por fim, no momento de confecção destes projetos, deve-se atentar para as normas técnicas da concessionária local ao qual o projeto possivelmente será executado e integrado. No estado do Rio Grande do Norte, empresa COSERN é a responsável pela padronização das entradas de serviços e estabelece as condições

para o fornecimento de energia elétrica para as unidades individuais ou múltiplas consumidoras.

De acordo com a COSERN (2014) existem as seguintes normas para o fornecimento de energia:

- SM04.13-00.01 – Fornecimento de Energia Elétricas em Baixa Tensão Individual;
- SM04.00-00.02 – Fornecimento de Energia Elétrica a Edificações com Múltiplas Unidades de Consumo, e;
- SM04.00-00.03 – Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição 13,8Kv.

Para o desenvolvimento do projeto do sistema fotovoltaico em estudo, deve-se recorrer a alguns pontos importantes que estão contidos na norma SM04.13-00.01 da COSERN. Pode-se mencionar prescrições a respeito do padrão de entrada, carga instalada, previsão de potência dos equipamentos de uso específico[14], o tipo de ligação, medidores de energia, caixa secionadora.

[14] Anexo 1: Tabela da COSERN, potência em (W) para equipamentos de uso específico.

3 MÉMORIA DE CÁLCULO

Alguns pontos importantes devem ser explanados, principalmente sobre as características principais para o dimensionamento dos sistemas, bem como, o procedimento de cálculo utilizado.

Nesse sentido, é de suma importância elaborar uma ficha de registro de dados relativos às especificações do sistema com o intuito de facilidade de análise para o dimensionamento e como auxilio de cálculo, dentre as características que fazem parte da ficha menciona-se: orientação, inclinação, área disponível, disponibilidade de materiais nacionais. Nesse sentido, no momento de elaboração do dimensionamento do sistema, essas características serão explanadas de forma mais detalhada.

Deve-se atentar para todos os passos do dimensionamento e que as especificações técnicas do módulo selecionado determinam as etapas seguintes condizentes ao dimensionamento. A seguir serão apresentados todos os passos e cálculos necessários para a elaboração do projeto do sistema solar. Nessa perspectiva, menciona-se que na literatura existente encontram-se diversos procedimentos metodológicos inerentes ao cálculo do dimensionamento dos componentes do sistema. Com efeito, esta pesquisa faz uma mesclagem do dimensionamento descrito no Manual da Cresesb, Pinho e Galdino (2014), com o proposto por Carneiro (2009).

Vale ressaltar que algumas características dos sistemas já foram descritas por Pinho e Galdino (2014) dentre elas destacam-se: a potência máxima do módulo sob o efeito da temperatura, a temperatura de operação do módulo em condições ambientais, a temperatura nominal de operação do módulo, dentre outras. Nesse sentido, os procedimentos já mencionados por Pinho e Galdino (2014) não são suficientes para o dimensionamento do sistema e, desta forma, as equações propostas por Carneiro (2009) e por Pinho e Galdino (2014) são complementares no passo a passo do projeto. A seguir o procedimento de cálculo utilizado no dimensionamento do sistema solar fotovoltáico.

3.1 ETAPAS INICIAIS DO PROJETO DO SISTEMA

Inicialmente alguns pontos importantes devem ser determinados, a saber, levantamento do recurso solar, definição da localização do e configuração do sistema e o levantamento adequado da demanda de consumo de energia elétrica. Menciona-se que tais parâmetros serão abordados com detalhes nos resultados desta pesquisa.

Vale ressaltar aqui alguns parâmetros importantes do dimensionamento. Pinho e Galdino (2014) mostra-nos que para o dimensionamento do sistema gerador (módulo fotovoltáico) deveremos calcular a potência do sistema gerador P_m (ou potência máxima (nominal) do gerador), nesse sentido, Pinho e Galdino (2014) definem como:

$$P_m = \frac{L}{HSP \cdot Red_1 \cdot Red_2} \tag{13}$$

Em que:

$L \rightarrow quantidade\ de\ energia\ consumida\ diariamente\ no\ mês, em\ \left({}^{Wh}/_{dia}\right)$

$HSP \rightarrow horas\ de\ sol\ pleno\ no\ plano\ do\ painel\ fovoltáico\ no\ mês, em\ \left({}^{h}/_{dia}\right)$

$Red_1 \rightarrow fator\ de\ redução\ da\ potência\ dos\ módulos\ fotovoltáicos, em\ (\%)$

$Red_2 \rightarrow fator\ de\ redução\ da\ potência\ devido\ perdas\ no\ sistema, em\ (\%)$

A equação da potência do gerador apresenta algumas variáveis até então desconhecidas, nessa perspectiva, Pinho e Galdino (2014) as definem como: a primeira delas refere-se a energia ativa necessária diariamente (L) que leva em conta o tipo de carga do sistema de corrente alternada e em corrente contínua e, bem como, nos sistemas que utilizam armazenamento a sua eficiência. Nesse sentido, define-se a energia ativa necessária como:

$$L = \frac{L_{cc}}{\eta_{bat}} + \frac{L_{ca}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv}} \tag{14}$$

Tem-se:

$L_{cc} \rightarrow quantidade\ de\ energia\ consumida\ diar.\ em\ corrente\ contínua, em\left({}^{Wh}/_{dia}\right)$

$L_{ca} \rightarrow quantidade\ de\ energia\ consumida\ diar.\ em\ corrente\ alternada, em\left({}^{Wh}/_{dia}\right)$

$\eta_{bat} \rightarrow eficiência\ global\ da\ bateria, em\ (\%)$

$\eta_{inv} \rightarrow eficiência\ do\ inversor, em(\%)$

A segunda diz respeito a variável HSP que consiste no número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m² (ou 1000 W/m²) de forma que a energia resultante seja em efeitos de cálculos equivalente à energia disponibilizada pela Sol na localidade que está sendo instalado o sistema solar. Com isso, a HSP é um fator que depende da localização geográfica do sistema, em que a variável é descrita por:

$$HSP = \frac{E}{G} \tag{15}$$

Em que:

$E \rightarrow energia\ da\ radiação\ global\ incidente\ (localização\ geográfica), \left({}^{Wh}/_{m^2 \cdot dia}\right)$

$G \rightarrow radiação\ solar\ incidente\ nas\ condições\ de\ referência, em\left({}^{W}/_{m^2}\right)$

De maneira geral o valor da radiação global incidente (E) dependem da localização geográfica no qual o sistema será instalado, menciona-se que podemos obter seus valores junto a sites e aplicativos. Já o valor da radiação solar incidente nas condições de referência é tido como 1000 W/m².

A partir desses parâmetros é que prosseguimos o passo a passo para o dimensionamento dos componentes do sistema, a seguir utilizaremos os conceitos abordados por Carneiro (2009) para o cálculo da potência do inversor, do número máximo e mínimo que é possível ligação em série e paralelo, bem como, conceitos relacionados ao dimensionamento dos condutores utilizados.

3.2 INTERVALO DE POTÊNCIA PARA A ESCOLHA DO INVERSOR.

Uns dos pontos mais importantes no dimensionamento do sistema consiste na escolha do inversor. Segundo Carneiro (2009) para o cálculo da potência do inversor existe um intervalo de potência que dependem da potência máxima (nominal) do gerador. Nesse sentido, é definido a potência máxima DC do inversor para o seguinte intervalo.

$$0{,}70 \cdot P_{fv} < P_{max}^{inv} < 1{,}20 \cdot P_{fv} \tag{16}$$

3.3 NÚMERO MÁXIMO DE MÓDULOS POR FILEIRA.

Outra característica importante segundo Carneiro (2009) está no valor da tensão de trabalho do inversor. Segundo o autor, ela resulta do somatório das tensões individuais dos módulos que estão ligados em série numa fileira e, devem seguir um critério para o número máximo de módulos que podem serem conectados em série no arranjo escolhido. Como descrito por Pinho e Galdino (2014) leva-se em consideração que a potência máxima de um gerador fotovoltáico varia com as condições ambientais, designadamente com a temperatura (Figura 6) e radiação solar (Figura 5).

Nesse sentido, o número máximo de módulos que é possível ligar em série, N_s é obtido segundo a equação descrita por Carneiro (2009), representada a seguir:

$$N_s \leq \frac{V_{max}^{inv}}{V_{ca(módulo\ a-10°c)}} \tag{17}$$

Em que V_{max}^{inv} representa a tensão máxima DC no inversor, depende das especificações do inversor escolhido (está no datasheet), e $V_{ca(módulo\ a-10°c)}$ representa a tensão em circuito aberto no módulo à temperatura de – 10°c.

Nessa perspectiva, a tensão de circuito aberto à temperatura de -10°C, na maioria das vezes não vêm especificado nos manuais dos fabricantes e, nesse sentido, deveremos recorrer as fórmulas matemáticas (15) para o seu cálculo. Com isso, os fabricantes nos fornecem dados relativos ao coeficiente $\frac{dV_{ca}}{dT} = \Delta V$, expresso

em ($^{\%}/_{\circ c}$) ou então em ($^{mV}/_{\circ c}$). Utilizaremos a fórmula que apresenta ΔV em função de ($^{\%}/_{\circ c}$), por conta, dos fabricantes encontrados representarem desta forma. A tensão de circuito aberto à temperatura de -10%, usada para encontrar o número máximo de módulos ligados em série, é:

$$V_{ca(módulo\ a-10°c)} = \left(1 - \frac{35°c\Delta V_{(^{\%}/_{\circ c})}}{100}\right).V_{ca(stc)} \tag{18}$$

3.4 NÚMERO MÍNIMO DE MÓDULOS POR FILEIRA.

De maneira análoga ao que foi mostrado anteriormente, existe um procedimento que determina o número mínimo de módulos ligados em série. Nesse sentido, o número mínimo, diferente do que foi apresentado no número máximo de módulos ligados em série, é determinado para situação correspondente a um valor de temperatura máxima de 70°C. Desta forma, os cálculos do número máximo e mínimo são efetuados no intervalo de temperatura de operação dos módulos fotovoltáicos (-10°C a 70°C). Destaca-se que o aumento na temperatura provoca descida na tensão, representado na Figura 6. Nestas condições, pretende-se garantir que a tensão instalada nos módulos não seja inferior a tensão mínima do inversor, V_{min}^{inv}. Desta forma, de acordo com Carneiro (2009) o número mínimo de módulos ligados em série, N_s^{min} é representado pela seguinte expressão:

$$N_s^{min} > \frac{V_{min}^{inv}}{V_{max(módulo\ a\ 70°C)}} \tag{19}$$

V_{min}^{inv} representa a tensão mínima DC no inversor, depende das especificações do inversor escolhido (apresentados no seu quadro de especificações), e $V_{max(módulo\ a\ 70°c)}$ representa a tensão máxima do módulo à temperatura de 70°c, calculado seguindo a expressão:

$$V_{max(módulo\ a\ 70°C)} = \left(1 + \frac{35°C \cdot \Delta V_{(^{\%}/_{\circ C})}}{100}\right) \cdot V_{max(cts)} \tag{20}$$

De forma semelhante, os fabricantes nos fornecem dados relativos ao coeficiente $\frac{dV_{ca}}{dT} = \Delta V$, expresso em ($^{\%}/_{\circ c}$) ou em ($^{mV}/_{\circ c}$). Utilizamos a fórmula que

apresenta ΔV em função de ($^{\%}/_{\circ c}$) por ser apresentado com mais frequência na literatura.

Nessa perspectiva, como representamos os cálculos para o número máximo e mínimo de módulos ligados em série, representamos então um intervalo. No dimensionamento do sistema deveremos obedecer a quantidade de módulos que estão nesta faixa. Usando as equações 14 e 16, representaremos este intervalo como:

$$\frac{V_{min}^{inv}}{V_{max(módulo\ a\ 70°C)}} < N_{módulos(série)} \leq \frac{V_{max}^{inv}}{V_{ca(módulo\ a-10°c)}}$$

3.5 NÚMERO DE FILEIRAS EM PARALELO

Como representamos até aqui a fileira de módulos ligados em série, deveremos ficar atento para o fato de que no arranjo fotovoltáico poderemos possuir ligação em paralelo dessas fileiras. Com isso, Carneiro (2009) nos mostra que para o cálculo do número máximo de fileiras ligadas em paralelo é:

$$N_p < \frac{I_{fv}}{I_{max}} \tag{21}$$

Porém, a equação 18 apresenta variáveis até então desconhecidas. A primeira delas I_{fv} é a intensidade de corrente que o sistema solar terá que gerar (corrente de entrada do inversor). Comumente representada por:

$$I_{fv} = \frac{P_{max}^{inv}}{V_{inv}} \tag{22}$$

P_{max}^{inv} é a potência máxima DC do inversor, fornecida no datasheet do inversor. Já a corrente que atravessa cada fileira de módulos I_{max} é tida como igual à corrente máxima de um módulo.

3.6 PAYBACK

Refere-se ao tempo necessário para que o que o custo de projeto e instalação dos sistemas solares se paguem, e a partir de então, comece a dar lucro para o proprietário. No caso da geração fotovoltaica, deve-se ter conhecimento de algumas variáveis para o cálculo do período de retorno do investimento. Considera-se como fatores de cálculo o custo do kWh (R$) sem imposto; o custo do kWh (R$) com imposto que será comprado da concessionária de energia; a geração média mensal do sistema (kWh); o valor do investimento e o perfil da unidade consumidora (monofásica, bifásica e trifásica). A equação básica que determina o tempo de payback é:

$$\underset{(meses)}{Payback} = \frac{Investimento_{(R\$)}}{\underset{\left({}^{kWh}/_{mês}\right)}{Energia\ Gerada} \cdot \underset{(R\$)}{Valor\ da\ tarifa}} \tag{23}$$

Em que investimento (R$) representa o valor gasto para instalação do sistema composta pelas etapas de projeto, custo dos equipamentos e custo da montagem do sistema. Menciona-se que valor da tarifa é encontrado junto a concessionária a qual o sistema irá ser interligado. Para calcular o tempo de payback se for necessário o levantamento de dados importante, como por exemplo a inflação das tarifas de energia determinadas pelo Ministério de Minas e Energia e a depreciação do módulo fotovoltáico ao decorrer dos anos.

Com relação ao reajuste das tarifas de energia, em Perry (2017), é dito que o MNE estima que o reajuste, no pior cenário, seja de 7% em 2018. Quanto a depreciação do módulo fotovoltáico, o fabricante informa que garante uma eficiência de 80% em até 25 anos, o que dá uma depreciação de 1,25% por ano. Outra forma de compreender o benefício obtido pela aquisição de um sistema de energia fotovoltaica é através do cálculo da taxa de retorno sobre investimento, pela literatura técnica chamado de rentabilidade. Para calcular qual a taxa de retorno anual associado ao investimento em um sistema de geração solar, basta verificarmos qual a proporção entre a economia obtida anualmente através do sistema e o investimento realizado.

$$Rentabilidade = \frac{Economia_{\left({}^{R\$}/_{ano}\right)}}{Investimento} \tag{24}$$

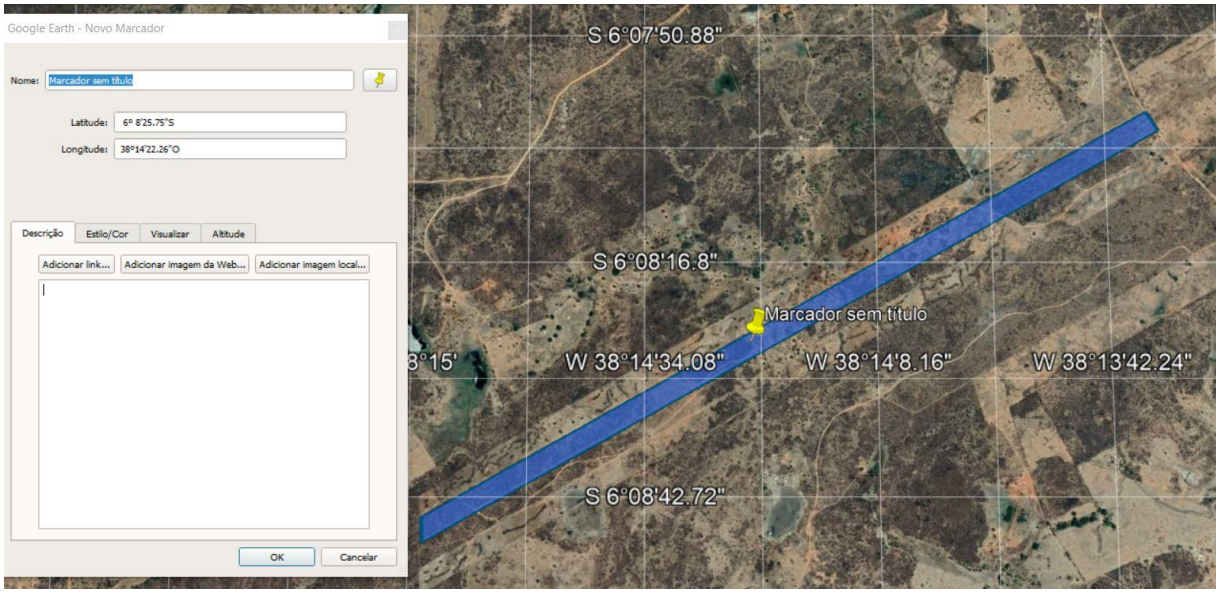
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 LEVANTAMENTO DO RECURSO SOLAR

O primeiro passo que irá servir para o dimensionamento do sistema fotovoltaico consiste na obtenção do recurso solar da localidade ao qual o projeto será instalado. O recurso pode ser obtido através de uma gama de aplicativos e sites de laboratórios e institutos especializados. Destaca-se que no projeto utilizamos o banco de dados da SunData, aplicativo gratuito disponibilizado na plataforma CRESESB (Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito). Outra forma é através do Atlas Brasileiro de Energia Solar, disponibilizado pela SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment).

De início a obtenção dos dados, deveremos definir a localização de instalação dos módulos. Para isso foi escolhido a instalação dos módulos em solo, em detrimento o telhado, por conta da de uma enorme área livre na propriedade rural. A Figura 16 representa o local exato de instalação dos módulos. Com o auxílio do Software Google Earth coletamos as coordenadas geográficas (latitude e longitude) desta instalação.

Figura 16 - Localização das instalações e obtenção das coordenadas geográficas.



Fonte: Adaptado Google Earth, 2019.

Deste modo, os dados fornecidos para a latitude e longitude foram respectivamente, 6°8’25,42” e 38°14’22,26”. Ressalta que esses dados serão utilizados para a obtenção dos valores de irradiação junto as plataformas SunData e o Atlas Brasileiro de Energia Solar.

Para a obtenção junto a plataforma, deve-se definir qual o ângulo que o sistema será instalado. Como o projeto irá ser feito em solo, teremos uma flexibilidade de angulação, em contrapartida, no telhado que deveria seguir a mesmo ângulo existente na edificação.

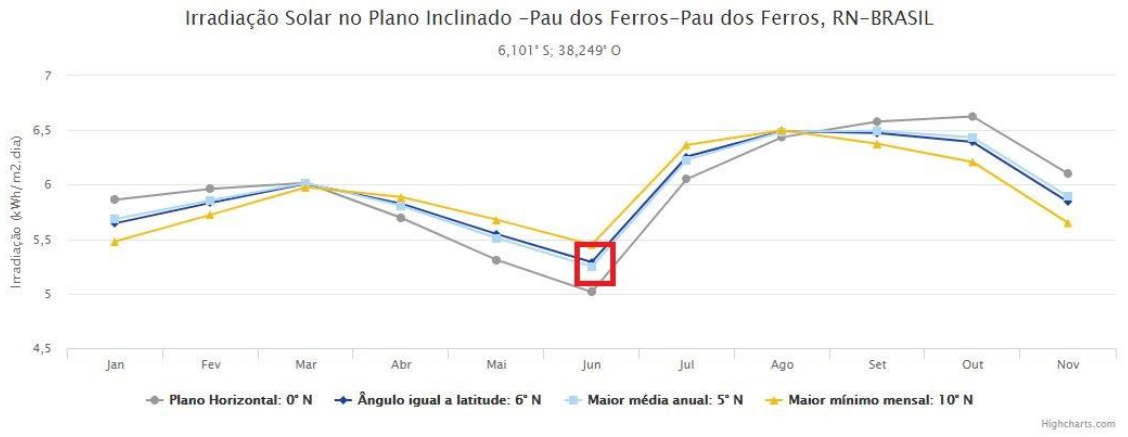
De acordo com a literatura o ângulo ideal é aquele igual à latitude. Como já descrito a instalação será feita em solo com uso de estruturas de alumínio e com a mesma angulação da latitude (6°8’25,42”), porém iremos aproximar este valor para 6°, tendo em vista uma maior facilidade no momento de execução. Desta maneira, os valores de irradiação obtidos na plataforma Cresesb estão na Figura 17.

Figura 17 - Energia diária em vários planos de inclinação - SunData

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Pau dos Ferros
Município: Pau dos Ferros , RN - BRASIL
Latitude: 6,101° S
Longitude: 38,249° O
Distância do ponto de ref. (6,13462° S; 38,228952° O) :4,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	5,86	5,96	6,02	5,70	5,31	5,01	5,36	6,05	6,44	6,58	6,63	6,10	5,92	1,61
☑	Ângulo igual a latitude	6° N	5,65	5,83	6,01	5,83	5,55	5,29	5,64	6,26	6,49	6,47	6,39	5,84	5,94	1,20
☑	Maior média anual	5° N	5,69	5,86	6,01	5,81	5,51	5,25	5,60	6,23	6,49	6,50	6,43	5,89	5,94	1,25
☑	Maior mínimo mensal	10° N	5,48	5,72	5,98	5,89	5,68	5,45	5,80	6,37	6,50	6,38	6,21	5,65	5,92	1,05



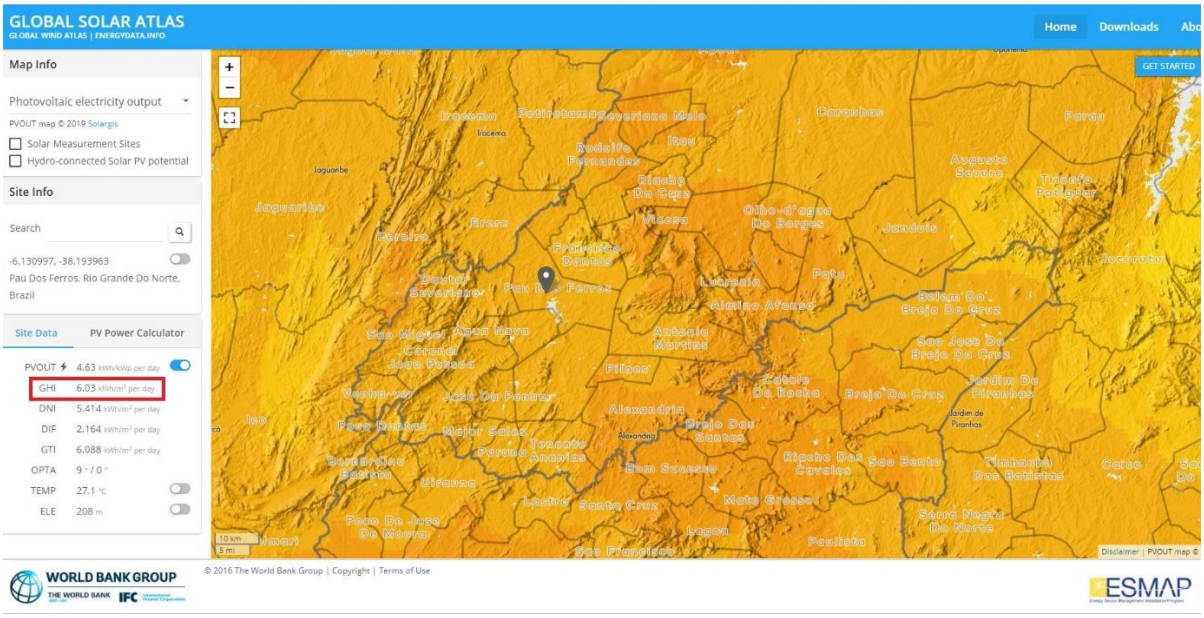
Fonte: Aplicativo SunData, Cresesb ,2019.

Analisando os dados obtidos, iremos escolher o menor valor anual para o caso do ângulo de inclinação do sistema igual a latitude, anteriormente aproximado para 6°, e teremos para o mês de junho o valor de:

$$E = \mathbf{5,29}\ {}^{\boldsymbol{kWh}}/_{\boldsymbol{m^2.dia}}$$

Os valores obtidos na plataforma Global Solar Atlas foram coletados colocando-se somente as coordenadas do local, mostradas na Figura 16, e evidencia que o valor é fornecido de maneira direta para o pior caso no decorrer do ano. A Figura 18 representa os dados obtidos na plataforma.

Figura 18 - Valor da irradiação obtido no Global Atlas Solar.



Fonte: Global Atlas Solar, SWERA ,2019.

Com isso, o valor obtido para a irradiação global no SWERA foi de:

$$E = \mathbf{6,03}\ {}^{\boldsymbol{kWh}}/_{\boldsymbol{m^2.dia}}$$

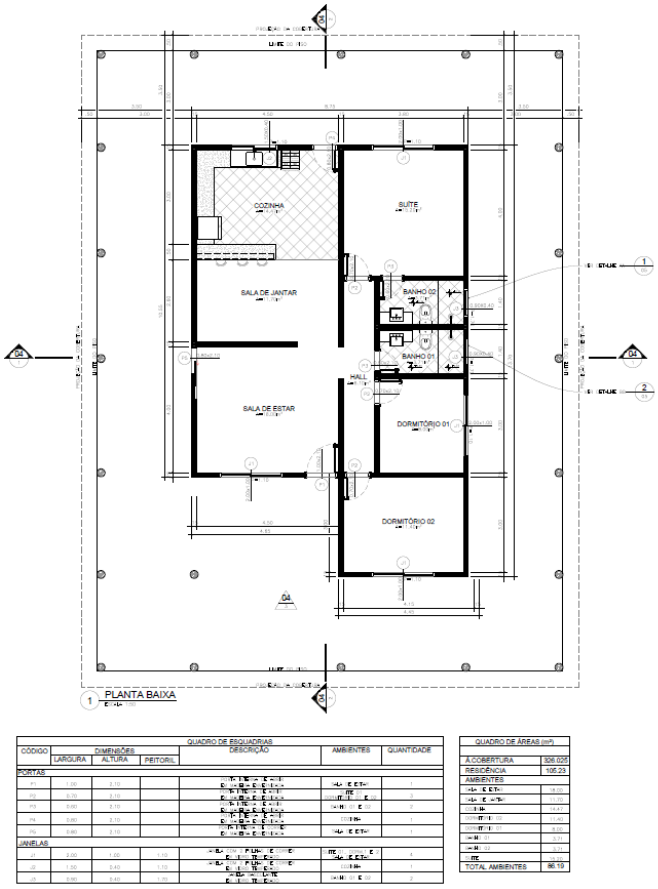
Os dados fornecidos pelas plataformas são de maneira geral representados ao decorrer dos meses do ano e, desta maneira, observa-se que ao longo do ano ocorrem variações na irradiação. Isto se deve as mudanças nas estações do ano, sendo que no mês de junho temos o inverno, que é quando o sol “se desloca” em direção ao hemisfério norte. Para os cálculos seguintes do dimensionamento do sistema usaremos o menor valor entre os dois obtidos que, neste caso, foi o do aplicativo SunData da Cresesb.

4.2 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E ESTIMATIVA DE USO DIÁRIO

O próximo passo do dimensionamento do sistema de geração de energia solar consiste no levantamento da potência referente as cargas da edificação e das benfeitorias do local. Como se trata de um terreno rural sem edificações e benfeitorias no local, foi desenvolvido um projeto arquitetônico residencial que servirá como base para o levantamento das cargas.

O projeto básico arquitetônico que servirá como base foi feito tomando como referência características comuns das residências rurais da região em estudo, a saber, ampla área de alpendre, conforto no espaço interno da edificação dentre outras. Cabe salientar que todo o projeto foi feito visando o bem-estar dos possíveis moradores e do seu uso como residência rural. A Figura 19 representa a planta baixa do projeto básico arquitetônico que utilizaremos para os cálculos mais adiante, e que está no Apêndice A.

Figura 19 - Projeto básico arquitetônico



Fonte: Autor, 2019.

Inicialmente, para o levantamento das cargas da propriedade rural iremos dividir em duas cargas distintas: a primeira representa carga dos equipamentos utilizados na edificação proposta em planta e dos equipamentos utilizados com as finalidades do meio, como: forrageira e bombas de água; o segundo será o levantamento da potência de iluminação residencial.

A primeira parte do cálculo consiste na elaboração de uma lista que contém todos os equipamentos e suas respectivas potências e a previsão de uso em horas/dia para cada um deles e a partir de então o cálculo da potência diária necessária para o gerador fotovoltaico. Tomaremos como base para a potência dos equipamentos parâmetros contidos na NBR 5410/2004 e na norma SM04.13-00.01 da concessionaria local, como também, uma tabela fornecida pela concessionaria que nos dá a potência de equipamentos de uso específico e que está no Anexo 1 desta pesquisa.

Menciona-se que a quantidade de carga atribuída a esse tipo de equipamento é a sua própria carga, que é a mesma contida no Anexo 1, onde é mostrada a carga atribuída a alguns equipamentos de uso específico de acordo com a concessionária local. Seguindo os critérios da ABNT e COSERN, no estudo proposto calculou-se o os equipamentos e suas respectivas potências, mostradas no Tabela 2. Nesta etapa alguns passos subjetivos foram tomados, tendo em vista as características da edificação e as necessidades das pessoas que ali podem frequentar.

A exemplo, menciona-se o uso de freezer, forrageira e de duas bombas de água, que são equipamentos pouco comuns em residências urbanas, porém, o estudo vem a tratar de uma propriedade rural que é utilizada para criação e/ou plantio. Evidenciando a maior instância deste tipo de uso por equipamentos com finalidades especificas. Depois de calculada e definida a potência das instalações pode-se calcular a potência requerida diária que o sistema precisará suprir.

Tabela 2 - Potência dos equipamentos.

NOME	POT(W)	Hv(h)	E (Wh)
Batedeira de Bolo	100	0,50h	50
Bomba de água 2 C	1472	8	11776
Bomba de água ½ C	368	8	2944
Chuveiro elétrico	2x4000	1	8000
Espremedor de Laranja	250	0,5	125
Exaustor para fogão	100	2,5	250
Ferro elétrico	550	1	550
Forno Micro-ondas	1150	1	1150
Forno elétrico	2000	0,5	1000
Forrageira	1200	1,5	1800
Freezer Hor.330L – 2p	200	8	1600
Geladeira comum 310L	190	8	1520
Liquidificador doméstico	320	0,5	160
Maq. de costura	105	0,5	52,5
Maq. de lavar roupa	500	1	500
Sanduicheira	640	0,25	160
Secador de cabelo grande	1280	0,5	640
Televisor acima de 30pol	200	4	800
Ar condicionado 9000BTU	3x1700	6	14800
		TOTAL	**52.877,5**

Fonte: Autor, 2019.

O segundo passo consiste na previsão da potência de iluminação, neste projeto foi usado o método preconizado pela ABNT NBR 5410/2004, que estipula um valor de potência em função da área. Nesse sentido, prevê-se pelo menos um ponto de iluminação no teto para cada cômodo. Para a realização do levantamento de cargas de cada ambiente, foi determinada uma carga de iluminação de 100 VA para cômodos com área inferior a 6m², enquanto para localidades com área maior que 6m², é adicionado uma carga de 60 VA para cada acréscimo de 4m² inteiros. Desta forma o Tabela 3 mostra os valores de áreas contidas na planta baixa do projeto arquitetônico e suas respectivas cargas previstas usando o método da NBR 5410/2004, como também, os valores previstos de uso diário e potência diária dos pontos de iluminação.

Tabela 3 - Potência de iluminação.

Ambientes	Área (m²)	Pot (VA)	Hv (h)	E (Wh)
Cozinha	14,47	220	6	1320
Sala de Jantar	11,70	160	2	320
Sala de Estar	18,00	280	4	1120
Suíte	15,20	220	6	1320
Banho 02	3,71	100	2	200
Banho 01	3,71	100	2	200
Dormitório 01	8,00	100	6	600
Dormitório 02	11,40	160	6	960
Alpendre	179,70	2680	6	16080
			TOTAL	**22.120,00**

Fonte: Autor, 2019.

Nesse sentido, calculou-se que são necessários cerca de 75kWh/dia para o estudo de caso em questão. Porém, é importante ressaltar que imóveis rurais pagam o valor da tarifa social, abatendo 50% do seu valor total. Essa energia é a que deverá ser produzida diariamente para suprir as necessidades energéticas da propriedade rural usada como base desta pesquisa.

4.3 SELEÇÃO DOS MÓDULOS

O próximo passo é a escolha do módulo fotovoltaico que será usado. Menciona-se que a escolha do módulo é um dos passos mais importantes no dimensionamento do sistema como um todo, pois é dos fatores que influem no restante do dimensionamento do sistema. A seleção do módulo a ser usado é efetuada em função do tipo de material que constitui as placas fotovoltaicas, que podem ser de silício monocristalino (m-Si), policristalino(p-Si) ou de filme fino. Os módulos compostos por silício mono e policristalino segundo Pinho e Galdino (2014) representam cerca de 87,9% do mercado mundial, em virtude, de ser considerada uma tecnologia confiável e consolidada, além de representarem as melhores eficiências do mercado.

Nesse ponto de vista, foi feito uma pesquisa em sites e lojas especializadas na venda de componentes de sistemas solares e, de maneira geral, os módulos mais comuns eram os de silício policristalino. Essa realidade vem como representação da maneira de fabricação destes módulos, de acordo com Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Cresesb e Cepel (1999):

> **Silício monocristalino:** este material é basicamente o mesmo utilizado na fabricação de circuitos integrados para a microeletrônica. A grande experiência na sua fabricação e pureza do material conferem alta confiabilidade do produto e altas eficiências. Devido às quantidades de material utilizado e à energia envolvida na sua fabricação, esta tecnologia apresenta sérias barreiras para a redução de custos, mesmo em grande escala de produção.

Nesse sentido, a célula de silício policristalino apresenta características semelhantes à de monocristalino, a saber:

> Estas células são fabricadas a partir do mesmo material que, ao invés de formar um único grande cristal, é solidificado em forma de um bloco composto de muitos pequenos cristais. A partir deste bloco são obtidas fatias e fabricadas as células. Na prática os produtos disponíveis alcançam eficiências muito próximas das oferecidas em células monocristalinas. Neste caso, a quantidade de material por célula é basicamente o mesmo do caso anterior, entretanto, a energia necessária para produzi-las é significativamente reduzida (CRESESB E CEPEL, 1999).

Com efeito, escolhemos um modelo de célula fotovoltaica de silício policristalino, em vistas, suas características explanadas até aqui e seu custo benefício em relação às outras tecnologias do mercado. O módulo escolhido foi o C53W-395P da empresa Canadian Solar de silício policristalino[15]. O Anexo 3 apresenta o datasheet (ficha de dados) obtida no manual do fabricante. A Tabela 4 reúne as características mais importantes apanhadas na ficha de dados do fabricante.

Tabela 4 - Características elétricas e térmicas do módulo.

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO MÓDULO	
P_{max}	395 W
V_{mp}	38,5 V
I_{mp}	10,26 A
V_{oc}	47 V
I_{sc}	10,82 A
CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS	
P_{max}	-0,37%/°C
V_{oc}	-0,29%/°C
I_{sc}	+0,05%/°C

Fonte: Adaptado catálogo Canadian Solar, 2018.[16]

[15] Módulo encontrado em lojas nacionais, disponível em: https://www.minhacasasolar.com.br/produto/módulo-solar-395w-canadian-solar-cs3w-395p-79326. Acesso em 05 de março de 2019.

[16] Disponível em: https://www.gemenergy.com.au/wp-content/uploads/2018/07/Canadian-Solar-DSHiKu-CS3W-P-High-Efficiency-1000V1500V-390-405W-Apr18.pdf. Acesso em 05 de março de 2019.

4.4 EFEITO DA TEMPERATURA NO MÓDULO

Após a escolha do módulo que irá compor o sistema, termos que fazer a correção da sua potência em decorrer dos efeitos da temperatura no módulo que são descritos no item 2.4.1.1, efeitos da temperatura, desta pesquisa.

Nessa perspectiva, como já mencionado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia e, como consequência, acaba baixando os pontos de operação para a potência máxima gerada. Com isso deveremos calcular algumas características importantes que serão mudadas de acordo com a temperatura do local.

De início, iremos calcular de forma simplificada a temperatura de operação de um módulo fotovoltaico em determinadas condições ambientais, e usaremos a Equação 8, anteriormente indicada.

$$T_{mod} = T_{amb} + K_t \cdot G \tag{8}$$

Nessa continuidade, algumas variáveis da equação da temperatura de operação do módulo precisam serem determinadas, a primeira diz respeito o coeficiente térmico. Logo, segundo o datasheet que está no Anexo 3, a temperatura nominal de operação da célula é de $N_{oct} = 45°C$, que foi usada para obter o valor do coeficiente térmico.

Como já mencionado, cada módulo tem uma temperatura nominal para as suas células, e de a acordo o item 2.4.1.1 Efeito da Temperatura) é obtida quando o módulo é exposto em circuito aberto a uma irradiância de 800W/m² em um ambiente com temperatura do ar a 20°C e sofrendo ação do vento incidindo com velocidade de 1m/s.

Logo, o coeficiente térmico é representado na Equação 9:

$$K_t = \frac{N_{oct} - 20}{800} \tag{9}$$

$$K_t = \frac{45 - 20}{800}$$

$$K_t = \mathbf{0,037}$$

O valor do coeficiente térmico é bem próximo do coeficiente que deverá ser adotado quando o fabricante não nos dá informações sobre a temperatura nominal de operação do módulo e, segundo Pinho e Galdino (2014), nestas condições devermos utilizar um valor padrão de $K_t = \mathbf{0,03}$.

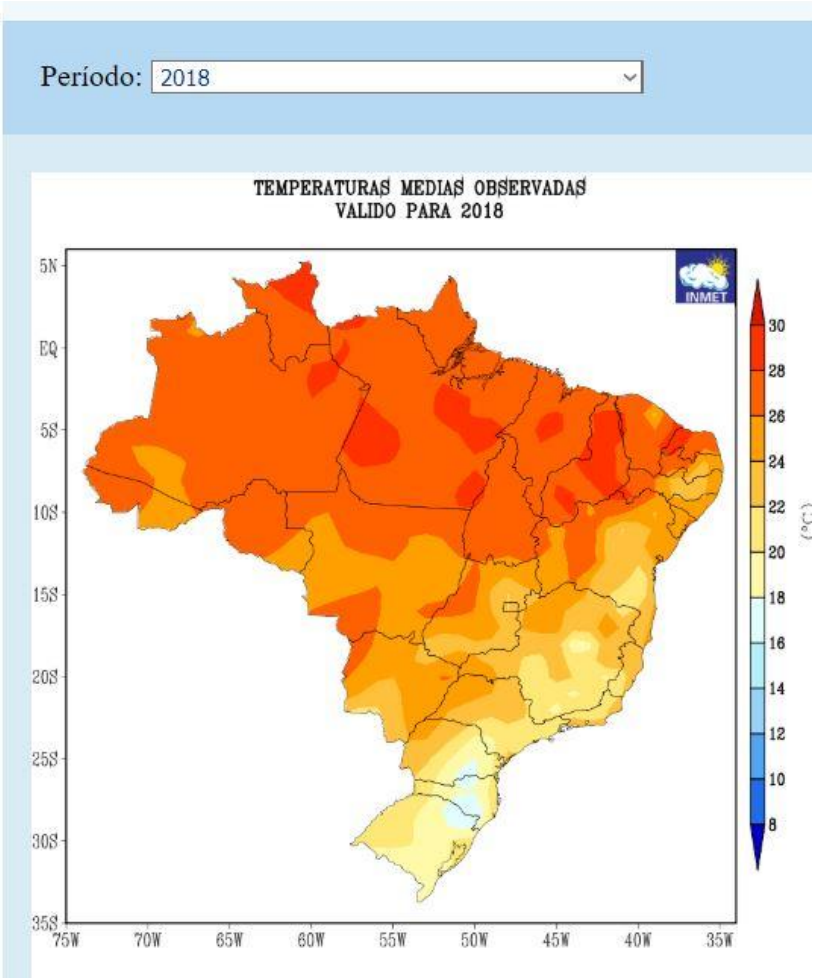
Aplicando K_t na equação 8 obtemos a temperatura de operação do módulo:

$$T_{mod} = T_{amb} + 0{,}031 \cdot 1000$$

$$T_{mod} = T_{amb} + 31$$

Porém precisamos do valor da temperatura ambiente na cidade de Pau dos Ferros/RN. Recorremos a dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia. A Figura 20 ilustra os dados coletados no InMet para a temperaturas médias diárias anuais no ano de 2018 da cidade de Pau dos Ferros.

Figura 20 - Média das temperaturas diárias anuais.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (InMet), 2018.

De acordo com dados do InMet a temperatura média para a localidade é de 28°C.Nesse sentido:

$T_{mod} = 28 + 31$

$T_{mod} = \mathbf{59°C}$

O próximo passo será fazer a correção da potência do módulo devido os efeitos da temperatura. Para cálculo da potência corrigida tem-se:

$$P_{mp(T)} = V_{mp_{stc}} \cdot I_{mp_{stc}} \left(1 + (\alpha + \beta_{vmp}) \cdot \Delta T\right) \quad (6)$$

Em que os valores de $V_{mp_{stc}}$ e $I_{mp_{stc}}$ são fornecidos pelo fabricante e se encontram no Tabela 4, e os valores $\alpha + \beta_{vmp}$ são obtidos seguindo os passos do item 2.4.1.1. Logo:

$P_{mp(T)} = 38{,}5 \cdot 10{,}26 \left[\left(\frac{0{,}05 - 0{,}29}{100}\right)(59 - 25) + 1\right]$

$P_{mp(T)} = 395{,}01(1 - 0{,}0816)$

$P_{mp(T)} = 395{,}01(0{,}9184)$

$P_{mp(T)} = \mathbf{362{,}77\ W}$

Usando o valor de redução da potência (-0,37%/°C) concedido pelo fabricante obtém-se:

$P_{mp(T)} = \mathbf{345\ W}$

Neste caso, optar-se-á por usar o coeficiente que forneceu a menor potência máxima (-0,37%/°C), que ocasionou uma diminuição de cerca de 8,30% de produção em cada módulo.

4.5 CÁLCULO DA POTÊNCIA DO GERADOR E DA QUANTIDADE DE MÓDULOS

O próximo passo do dimensionamento do sistema consiste na obtenção da quantidade total de módulos e na verificação da disposição do arranjo utilizado (quantidade possível da ligação em série e paralelo).

Porém deve-se de início determinar a potência do sistema gerador, pois, a partir dela determinaremos a quantidade de módulos do sistema. A potência do sistema do sistema gerador é determinada de acordo a Equação 13. Logo:

$$P_m = \frac{L}{HSP \cdot Red_1 \cdot Red_2} \tag{13}$$

Porém algumas variáveis precisam ser determinadas para o cálculo da potência do sistema gerador. A primeira será a quantidade de energia ativa consumida diariamente, que como tratado no item 5.2.1 leva em conta as cargas do sistema de corrente alternada, contínua e do sistema de armazenamento. O cálculo da quantidade de energia ativa diária é representado pela Equação 14.

$$L = \frac{L_{cc}}{\eta_{bat}} + \frac{L_{ca}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv}} \tag{14}$$

Como é SFCR, não se tem bateira, logo, o primeiro termo é zero e η_{bat} sai da equação. O valor da quantidade de energia consumida diariamente em corrente alternada (L_{ca}) foi determinado no item 6.2 e equivale a 75 kWh/dia. Com isso:

$$L = \frac{L_{ca}}{\eta_{inv}}$$

$$L = \frac{\mathbf{75}\, \boldsymbol{kWh}/\boldsymbol{dia}}{\boldsymbol{\eta_{inv}}}$$

A segunda variável encontrada consiste na quantidade de horas de sol pleno e, de acordo Carneiro (2009), número médio diário de horas que representaria a sua potência máxima convencional de 1kW/m². Usamos a Equação 15 para o cálculo da quantidade de horas de sol pleno, em que E representa a radiação global incidente. O valor de E corresponde a E=5,29 kWh/m²dia. Logo:

$$HSP = \frac{E}{G} \tag{15}$$

$$HSP = \frac{5290\,{}^{Wh}/_{m^2.dia}}{1000\,{}^{W}/_{m^2}}$$

$$HSP = \mathbf{5,29\ {}^{h}/_{dia}}$$

Portanto, subsistiu-se os valores encontrados nas Equações 14 e 15 na Equação 13. Teremos:

$$P_{max} = \frac{75\,{}^{kWh}/_{dia}}{5{,}290\,{}^{h}/_{dia} \cdot 0{,}80}$$

$$P_{max} = \mathbf{17,72\ kW}$$

Menciona-se que geralmente na literatura técnica pesquisada, geralmente, a recomenda usar um rendimento total de 0,80 devido a fatores internos e a fatores externos. Nessa perspectiva, os valores de η_{inv}, Red_1e Red_2 estão representados por 0,80.

Após o cálculo da potência do sistema gerador, foi calculado a quantidade de módulos total do sistema. Para determinar o número de módulos tem-se:

$$N_{painéis} = \frac{P_{max}}{P_{módulo}} \tag{25}$$

$$N_{módulos} = \frac{17720W}{345\ \mathrm{W}}$$

$$N_{módulos} = 51{,}36\ módulos\ \cong \mathbf{52\ módulos}$$

Em que o dado de entrada que refere-se a potência do módulo ($P_{módulo}$) foi utilizada a potência corrigida pelas efeitos da temperatura. Desta forma a potência total do sistema ficou em torno de 17,94 kW. Pois

$$P_{max} = N_{módulos} \cdot P_{módulo}$$

$$P_{max} = 52 \cdot 345\mathrm{W}$$

$$P_{max} = \mathbf{17,94\ kW}$$

4.6 DIMENSIONAMENTO E ESCOLHA DO INVERSOR

A escolha do inversor consiste em um dos passos mais importantes no dimensionamento do sistema fotovoltaico, pois influência de forma significativa no custo do sistema, na eficiência e na integração com rede de distribuição local. O primeiro passo para o seu dimensionamento consiste no cálculo da potência do inversor. Para isso usou-se o intervalo de potência correspondente da equação 16.

$$0{,}70 \cdot P_{fv} < P_{max}^{inv} < 1{,}20 \cdot P_{fv} \tag{16}$$

E como a potência do sistema fotovoltaico foi anteriormente calculada, teremos:

$0{,}70 \cdot 17{,}94\ \mathrm{kW} < P_{max}^{inv} < 1{,}20 \cdot 17{,}94\mathrm{kW}$

$\boldsymbol{12{,}56\ kW} < P_{inv} < \boldsymbol{21{,}53\ kW}$

Logo, a potência do inversor escolhido deverá está dentro do intervalo de **12,56 kW** a **21,53 kW**. Nesse sentido, foi feita uma pesquisa em sites e lojas especializadas na venda de componentes para o uso em sistemas solares. Selecionamos 5 inversores trifásicos com potências nominais a partir de 15kW, representados na Tabela 5. Destaca-se que durante o momento de pesquisa buscou-se sempre a escolha de inversores de marcas já consolidadas, que possuem garantia em território nacional e que apresentavam as melhores características para o sistema, a saber, melhor eficiência e com monitoramento via Wi-fi.

Outra alternativa para a escolha do inversor seria o uso dos inversores monofásicos. Neste caso, usaríamos um conjunto composto por 3 inversores monofásicos cada um com 5 kW. Em pesquisas em sites e lojas especializadas na venda destes produtos encontramos um inversor bastante comum que está representado na Tabela 6.

Tabela 5 - Inversores selecionados.

INVERSORES SELECIONADOS	
MODELO	**PREÇO(R$)**
Inversor Grid-Tie 15kW Fronius com monitoramento -Symo Brasil-15.0-3 208/240[17]	**18.190,00** (Ref: Site Minha Casa Solar)[18]
Inversor Grid-Tie 15kW Fronius com monitoramento -Symo Brasil-15.0-3M [19]	**21.194,70** (Ref: NeoSolar)[20]
Symo 17-5.3-M	-
Symo 20.0.3-M	**24.990,00** (Ref: Site Neo Solar)
Inversor Grid-Tie 20,0kW Refusol sem monitoramento	**23.389,00** (Ref: Site Minha Casa Solar)

Fonte: Autor, 2019.

Economicamente, os inversores monofásicos seriam competitivos em relação aos trifásicos, porém em análise aos datasheet dos inversores, optamos por utilizar os inversores trifásicos. Tendo em vista, uma facilidade de arranjo do sistema e no momento de execução.

Tabela 6 - Inversor monofásico selecionado.

INVERSOR SELECIONADO	
MODELO	**PREÇO(R$)**
Inversor Canadian 5kW com monitoramento	**6.169,00** (Ref: Site Mercado Livre)

Fonte: Autor, 2019.

[17] Anexo 4 – Datasheet do inversor Fronius 15.0-3 208/240.

[18] Disponível em: https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-grid-tie-15-0kw-fronius-com-monitoramento-symo-brasil-15-0-79339. Acesso 10 de março de 2019.

[19] Anexo 5 - Datasheet do inversor Fronius 15.0-3M.

[20] Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-symo-15-0-3-m-15000w.html. Acesso 10 de março de 2019.

Dentre os inversores apresentados, percebe-se que os inversores Grid-Tie 15kW Fronius Symo Brasil-15.0-3 e o Inversor Grid-Tie 15kW Fronius Symo Brasil-15.0-3M seriam os mais interessantes para comporem o sistema por conta dos seus preços e por satisfazerem o intervalo de potência anteriormente calculado. O inversor 15.0-3 apresenta preço mais competitivo em relação ao 15.0-3M, porém, foi observado no datasheet do inversor que o mesmo apresenta uma tensão de saída de não compatível com tensão da rede concessionaria local (220V/380V). Com isso, mesmo apresentando um preço mais elevado, utilizamos o inversor **15.0-3M** para compor o sistema, e em relação ao inversor monofásico uso do inversor Fronius 15.0-3M irá permitir um ótimo arranjo dos módulos.

Para o arranjo do sistema será empregado 4 ligações em paralelo com 13 módulos em série cada, totalizando os 52 módulos calculados no item 6.5. O próximo passo do dimensionamento é a verificação das quantidades de módulos ligados em série e da ligação em paralelo dos conjuntos. Para a verificação iremos utilizar equações descritas por Carneiro (2009) apresentadas na metodologia desta pesquisa. O primeiro passo consiste no cálculo do número máximo de módulos que é possível ligar em série (número máximo de módulo por fileira), representado pela Equação 17. Logo:

$$N_s \leq \frac{V_{max}^{inv}}{V_{ca(módulo\ a-10°c)}} \tag{17}$$

O numerador da equação representa a tensão máxima DC no inversor e foi obtida em análise do seu datasheet que está no Anexo 5 e é representada por $V_{max}^{inv} = 1000V$. Porém a variável $V_{ca(módulo\ a-10°c)}$ ainda apresenta-se desconhecida. $V_{ca(módulo\ a-10°c)}$ representa a tensão em circuito aberto no módulo à temperatura de -10°. Com isso, recorremos a Equação 18 usada para o seu cálculo.

$$V_{ca(módulo\ a-10°c)} = \left(1 - \frac{35°c\Delta V_{(\%/°c)}}{100}\right).V_{ca(stc)} \tag{18}$$

$V_{ca(stc)}$ e $\Delta V_{(\%/°c)}$ são encontrados na ficha de especificações do módulo:

$V_{ca(stc)} = 38{,}5V$

$\Delta V_{(\%/°c)} = (-0{,}29\ \%/°c)$

Assim:

$$V_{ca(módulo\ a-10°c)} = \left(1 - \frac{35\,.(-0{,}29)}{100}\right).38{,}5$$

$$V_{ca(módulo\ a-10°c)} = \mathbf{42V}$$

Nessa perspectiva, o número máximo de ligação de módulos em série calculado foi:

$$N_s \leq \frac{\mathbf{1000}}{\mathbf{42}}$$

$$N_s \leq \mathbf{23,80} \cong \mathbf{24}$$

A segunda verificação diz respeito a determinação do número mínimo de módulos por fileira, como descrito anteriormente no item 5.2.4 desta pesquisa, foi calculado da seguinte forma:

$$V_{max(módulo\ a\ 70°C)} = \left(1 + \frac{35°C \cdot \Delta V\left(\%/_{°C}\right)}{100}\right) \cdot V_{max(cts)} \qquad (20)$$

$$V_{max(módulo\ a\ 70°C)} = \left(1 + \frac{35 \cdot (-0{,}29)}{100}\right) \cdot 38{,}5$$

$$V_{max(módulo\ a\ 70°C)} = 0{,}8985\ \cdot 38{,}5$$

$$V_{max(módulo\ a\ 70°C)} = \mathbf{34,59V}$$

$$N_{s(min)} > \frac{V_{min}^{inv}}{V_{max(t=70°C)}} \qquad (19)$$

$$N_{s(min)} > \frac{\mathbf{200}}{\mathbf{34,59}}$$

$$N_{s(min)} > \mathbf{5,78} \cong \mathbf{6}$$

Como mostrando anteriormente na máxima tensão CC do inversor, a mínima é encontrada por analogia, precisou ir apenas no datasheet do inversor escolhido e V_{min}^{inv} foi especificada como 200V. O último passo da verificação do arranjo escolhido, consiste em analisar se escolha está dentro do intervalo do número máximo e mínimo de módulos ligados em série para o inversor.

$$\mathbf{6} < N_s \leq \mathbf{24}$$

Como o arranjo escolhido foi de 4 ligações em paralelo com 13 módulos em série cada, totalizando os 52 módulos. Então:

$6 < \mathbf{13} \leq 24$

Com isso, diz-se que o número de módulos ligados em série satisfaz a verificação. Considerando os valores de corrente e tensão máximos e mínimos, teremos:

$V_{max} = 42V \cdot 13 = \mathbf{546V}$

$V_{min} = 34{,}59V \cdot 13 = \mathbf{449{,}67V}$

Garantido que a tensão sempre estará dentro do intervalo recomendado pelo fabricante (320-800V) contido no Anexo 5 desta pesquisa. O No caso da corrente, tem-se:

$I_{max} = I_{sc} = \mathbf{10{,}82A}$

$\vec{I_T} = 4 \cdot I_{max} = 4 \cdot 10{,}82$

$\vec{I_T} = \mathbf{43{,}28A}$

Nesse sentido, a corrente máxima apresentada nas especificações do fabricante é de **51A**, conclui-se que o arranjo escolhido pode ser executado, e a ligação escolhida será efetuada sem que venha ocasionar danos ao sistema como um todo. Nesse âmbito, o Apêndice B representa projeto do sistema com a configuração escolhida (4 arranjos em paralelo com 13 módulos ligados em série cada).

Obs: segundo as especiações fabricante o inversor permite a conexão de 6cc + 6cc e, desta forma, seria possível levar cada arranjo série para o inversor e fazer a ligação. Porém, como desvantagem teria uma string box mais robusta e um acréscimo nos condutores.

4.7 STRING BOX

O próximo passo do dimensionamento do sistema consiste no dimensionamento da String Box, que é o equipamento de proteção que isola o sistema de produção de energia solar impedindo o risco de propagação de acidentes elétricos, como o curto circuito e os surtos elétricos.

Nesse sentido, os dois dispositivos mais importantes da String Box são: o DPS (dispositivo de proteção contra surtos) e o disjuntor cc, pois, quando conectada ao lado das correntes continuas, ela protege tanto a instalação quanto os módulos solares das descargas elétricas e quanto ao lado da corrente alternado protege a instalação conta as descargas atmosféricas. Também pode ser agregado aos conjuntos outro componente que é o fusível.

No dimensionamento da string box o primeiro componente que dimensionamos foi o disjuntor. Para sua escolha deve-se atentar para a NBR 5410/2004 que orienta:

$$I_B < I_n < I_z \tag{26}$$

Em que:

$I_B \rightarrow corrente\ de\ projeto$;

$I_n \rightarrow correne\ nominal\ do\ disjuntor$;

$I_z \rightarrow corrente\ que\ o\ condutor\ suporta.$

Neste caso, inicialmente, a correte do nominal do disjuntor deve ser maior que a corrente anteriormente calculada $(43{,}28\ A)$. Em pesquisas e sites especializados na venda de produtos usados para a instalação de sistemas fotovoltaicos, porém, no momento de pesquisa não foi encontrado um disjuntor de 45A que satisfaz a condição estabelecida pela NBR 5410/2004. E nesse sentido, optou-se por usar 2 Strings box que possam interligar o sistema.

Os outros componentes da string box, a saber, o DPS e o Fusível. Esses componentes foram escolhidos de modo a integrar de forma correta as especificações do sistema. A Tabela 7 contém os componentes que irão compor a

string box. Como serão duas string box, a tabela representa o total de dispositivo necessário para o sistema.

Tabela 7 - Dispositivos de proteção.

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO ADOTADOS	
MODELO	**PREÇO(R$)**
Disjuntor CC 16A 1000VDC 4 polo SL7-63 Suntree[21]	**2x175,00=350,00** (Ref: Site Panda Energia Solar)[22]
DPS protetor de surto bipolar – DC – 600V - 40ka – Fotovoltaico TOMZN[23]	**4x114,00=456,00** (Ref: Site Mercado Livre)[24]
Porta fusível com fusível 16A 1000V DC WorldSunLigth[25]	**8x26,00=192,00** (Ref: Site Panda Energia Solar)[26]
TOTAL	**998,00**

Fonte: Autor, 2019.

Com isso, dimensionamos todos componentes do sistema. O último passo desta pesquisa será a análise de custo do sistema.

---

[21] Anexo 6 – Datasheet do disjuntor Suntree CC 16A 1000 VDC 4 polos

[22] Disponível em: https://pandaenergiasolar.lojaintegrada.com.br/disjuntor-30a-1000-vdc-4-polo. Acesso em 14 de março de 2019.

[23] Anexo 7 – Datasheet do DPS DC – 600V-40Ka-Fotovoltaico TOMZN

[24] Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-766680366-dps-protetor-de-surto-bipolar-dc-600v-40ka-fotovoltaico-_JM?matt_tool=17674455&matt_word&gclid=CjwKCAjw4LfkBRBDEiwAc2DSlAqcZ-YpB0ykjsgzc2eghRNe9xUABYXcRyKm42RkzdZlj8OxLdmLSRoCeYEQAvD_BwE&quantity=1. Acesso em 14 de março de 2019.

[25] Anexo 8 – Datasheet do porta fusível com fusível 16A 1000V DC WoldSunLigth

[26] Disponível em: https://pandaenergiasolar.lojaintegrada.com.br/porta-fusivel-com-fusivel-16a-1000-vdc-worldsunlight. Acesso em 14 de março de 2019.

4.8 ANÁLISE DE CUSTO DO SISTEMA E PAYBACK

Como descrito anteriormente o payback diz respeito ao tempo necessário para que o que o custo de projeto e instalação dos sistemas solares se paguem em meses, e a partir de então, comece a dar lucro para o proprietário. O cálculo do payback é representado no item 5.2.7 e é tido como:

$$\underset{(meses)}{Payback} = \frac{Investimento_{(R\$)}}{\underset{\left({}^{kWh}/_{mês}\right)}{Energia\ Gerada} \cdot \underset{(R\$)}{Valor\ da\ tarifa}} \tag{23}$$

Dentre as variáveis da expressão do payback calculamos, inicialmente, o $Investimento_{(R\$)}$ que refere-se ao custo total da micro usina fotovoltaica. O custo simplificado do sistema foi calculado somando os custos dos módulos, do inversor e dos componentes da string box. Destaca-se que esse valor não está incluso algumas variáveis, a saber, frete, mão de obra, cabeamento e conexões, caixa de proteção e aterramento.

Com isso, o primeiro custo que deveremos calcular será o dos módulos solares. Como o sistema é composto por 52 módulos precisou apenas multiplicar o custo de 1 módulo por 52. Teremos:

$$CT_{painéis} = preço(R\$) \cdot QT_{painéis} \tag{27}$$

$CT_{painéis} = 919{,}00 \cdot 52$

$CT_{painéis} = \boldsymbol{R\$\ 47.788{,}00}$

O custo dos 52 módulos que compõe o sistema foi de R$ 47.788,00, onde utilizou-se como base o preço do módulo C53W-395P [27]que foi de R$ 919,00. O próximo custo que calculamos foi o do inversor Fronius com monitoramento – Symo Brasil-15.0-3M [28] que foi de **R$ 21.194,70.**

---

[27] Disponível em: https://www.minhacasasolar.com.br/produto/módulo-solar-395w-canadian-solar-cs3w-395p-79326. Acesso em 05 de março de 2019.

[28] Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-symo-15-0-3-m-15000w.html. Acesso 10 de março de 2019.

Por fim para o custo total do sistema foi feito pesquisas em sites de vendas para os produtos da string box. Os valores de cada componente estão contidos na Tabela 7 desta pesquisa, bem como, o custo total dos componentes que foi de **R$998,00.**

Desta forma, o custo total simplificado do sistema fotovoltaico dimensionado nesta pesquisa foi de:

$$CT = CT_{painéis} + CT_{inversor} + CT_{string\ box} \tag{28}$$

$CT = 47.788{,}00 + 21.194{,}70 + 998{,}00$

$CT = \boldsymbol{R\$\ 69.980{,}70}$

O segundo passo refere-se a tarifa de energia utilizada pela concessionária local de energia elétrica. Porém, é importante ressaltar que imóveis rurais pagam o valor da tarifa social, abatendo 50% do seu valor total. Em consulta a concessionária a tarifa para a classe residencial urbana (classe B1) usada no momento desta pesquisa é de aproximadamente R$ 0,62. Com isso teremos de forma simplificada o valor de **R$ 0,31** para a classe rural (classe B2).

O denominador que corresponde a energia gerada pelo sistema, porém, na literatura técnica encontramos expressões relacionadas a energia consumida dos equipamentos do sistema e é determinada de acordo com a fórmula matemática descrita por Pinho e Galdino (2014):

$$C_m = \frac{Pe \cdot Nd.D_m}{1000} \tag{29}$$

Em que:

$C_m \rightarrow\ consumo\ médio\ mensal, em\ \left({}^{kWh}/_{mês}\right)$

$P_e \rightarrow potência\ nominal\ do\ equipamento, em\ (W)$

$N_d \rightarrow\ número\ médio\ de\ horas\ diárias\ de\ utilização\ do\ equipamento, em\ \left({}^{h}/_{dia}\right)$

$D_m\ \rightarrow\ número\ médio\ de\ dias\ de\ utilização\ do\ equipamento, por\ mês, em\ \left({}^{dias}/_{mês}\right)$

Por analogia podemos de forma simplificada calcular a energia produzida em kWh/mês pelo sistema gerador. Com isso teremos:

$$P_m = \frac{N_{painéis} \cdot P_{painel(corrigido)} \cdot HSP \cdot D_m}{1000} \quad (30)$$

$P_m \rightarrow$ $prudução\ média\ mensal, em\ \left({}^{kWh}/_{mês}\right)$

$N_{módulos} \rightarrow$ $número\ de\ módulos\ utilizado\ no\ sistema$

$P_{módulo(corrigido)} \rightarrow$ $potência\ do\ painel\ já\ corrigida\ pelo\ efeito\ da\ temperatura, (W)$

$HSP \rightarrow$ $horas\ de\ sol\ pleno, em\ \left({}^{h}/_{dia}\right)$

$D_m \rightarrow$ $número\ médio\ de\ dias\ de\ utilização\ do\ equipamento, por\ mês, \left({}^{dias}/_{mês}\right)$

Neste sentido, utilizamos para o número de módulos, potência do módulo e horas de sol pleno calculados nos itens anteriores deste trabalho. Para a produção média mensal do sistema de geração solar, calculou-se:

$$P_m = \frac{52 \cdot 345(W) \cdot 5{,}29\left({}^{h}/_{dia}\right) \cdot 30\left({}^{dias}/_{mês}\right)}{1000}$$

$$P_m = \mathbf{2.847{,}08}\ \boldsymbol{{}^{kWh}/_{mês}}$$

Como todas as variáveis necessárias para o cálculo do payback foram determinadas, o seu valor em meses foi de:

$$\underset{(meses)}{Payback} = \frac{R\$69.980{,}70}{2.847{,}08\left({}^{kWh}/_{mês}\right) \cdot R\$0{,}31}$$

$$\underset{(meses)}{Payback} = 79{,}29 \cong \mathbf{80\ meses}$$

O payback do sistema ficou em torno de 80 meses, o que corresponde a 6 anos e 8 meses. Menciona-se que de acordo com literatura utilizada o payback está dentro dos limites temporais usuais, a saber, entre 5 a 8 anos. Deve-se levar em consideração que quanto maior a tarifa de energia, menor é o payback, ou seja, menos tempo se leva para o investimento ser compensado. A exemplo, menciona-se o caso da tarifa da Classe B1(residencial) que é de aproximadamente 0,62 R$, teríamos um payback de:

$$\underset{(meses)}{Payback} = \frac{R\$69.980{,}70}{2.847{,}08\left({}^{kWh}/_{mês}\right) \cdot R\$0{,}62}$$

$$\underset{(meses)}{Payback} = 39{,}64 \ \cong \mathbf{40\ meses}$$

Nesse sentido, o payback do sistema para um investimento de mesmo valor é desfavorável no âmbito rural que no urbano. Porém deve-se atentar que de maneira geral os módulos fotovoltaicos têm duração por volta de 25 anos o que neste caso poderia gerar para o cliente rural uma economia de 18 anos e 4 meses.

O último parâmetro que foi calculado relacionado aos custos e investimentos do sistema foi a rentabilidade, que consiste na taxa em percentual de retorno associado ao investimento do sistema. A Equação 25 representa a expressão da rentabilidade.

$$Rentabilidade = \frac{Economia\left({}^{R\$}/_{ano}\right)}{Investimento} \tag{24}$$

O valor da economia em reais por ano foi encontrado da seguinte maneira:

$$Economia\left({}^{R\$}/_{ano}\right) = P_m \cdot Valor\ da\ tarifa\ \cdot QT_{meses} \tag{31}$$

$$Economia\left({}^{R\$}/_{ano}\right) = 2.847{,}08 \cdot 0{,}31\ \cdot 12$$

$$Economia\left({}^{R\$}/_{ano}\right) = \mathbf{10.591{,}14\ R\$/ano}$$

A rentabilidade do sistema em percentual encontrada:

$$Rentabilidade = \frac{10.591{,}14}{69.980{,}70}$$

$$Rentabilidade = 0{,}151 \cdot 100\% = \mathbf{15{,}1}\%$$

O sistema dimensionado nesta pesquisa apresenta uma rentabilidade de 15,1%, o que corresponde que a cada ano o proprietário do sistema receberá cerca de 15,1% do valor total gasto no sistema.

4.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O último resultado encontrado na pesquisa diz respeito a análise dos resultados obtidos. Nessa perspectiva, buscou-se sites que contém simuladores de dimensionamento de sistemas solares para que possamos subsidiar a análise. Utilizou-se o site NeoSolar para que pudéssemos confrontar os dados obtidos nesta pesquisa com os resultados fornecidos pelo site. Na plataforma do site deveremos fornecer como dados de entrada o local que será instalado o sistema, a tarifa da rede concessionária e o consumo médio mensal de energia. Com isso, inicialmente calculamos o consumo médio mensal de energia para a propriedade rural, com isso:

$$C_m = \frac{Pe \cdot Nd.D_m}{1000} \tag{29}$$

$$C_m = \frac{75kWh \cdot 30dias}{1000}$$

$$C_m = 2.250{,}00\ kWh/mês$$

Com os dados de entrada foi obtido no site o custo do sistema, o tamanho do gerador fotovoltaico, a quantidade de módulos necessários, economia mensal do sistema, dentre outras características importantes. A Figura 21 ilustra os resultados obtidos na plataforma NeoSolar. Deve-se mencionar que o custo do sistema obtido da plataforma apresenta-se mais elevado por conta de características suprimidas nesta pesquisa que forma anteriormente mencionadas, a saber, custo de instalação, cablagens, frete dos equipamentos e da estrutura metálica. Porém, o custo obtido na pesquisa apresenta-se semelhante o obtido na plataforma.

Outro ponto importante está na quantidade de módulos, como nesta pesquisa utilizou-se de módulos com potência mais elevada em contrapartida a maioria que se contra no mercado. Com isso, a quantidade de módulos obtidos na pesquisa representa um número menor do que o obtido na plataforma (60 módulos). Em vista dos resultados confrontados, pode-se mencionar que o sistema dimensionado na pesquisa esta em conformidade com os sistema calculados por meio de sites e aplicativos.

Figura 21 - Resultado do sistema obtido na plataforma NeoSolar.

Fonte: Portal NeoSolar, 2019.[29]

Destaca-se que a plataforma NeoSolar disponibiliza um gráfico que representa a economia gerada pelo sistema no decorrer dos anos. O gráfico obtido na plataforma está contido no Anexo 9 desta pesquisa. Neste sentido, o período de retorno apresentado no gráfico foi de aproximadamente entre 7 a 8 anos, o que se apresenta bem próximo do obtido nesta pesquisa.

---

[29] Disponível em: https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica-resultado. Acesso 27 de março de 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise e desenvolvimento de um sistema de geração de energia fotovoltaico em ambiente rural com o uso de metodologias contidas em normas técnicas e de autores como Pinho e Galdino (2014) e Carneiro (2009). Na pesquisa levou-se em consideração perspectivas residenciais locais e estimativa de uso de equipamentos específicos onde pode-se compreender os problemas existentes e avaliou-se as possíveis soluções, levando em consideração os anseios e necessidades dos indivíduos da zona rural. Deste modo, o estudo está voltado na apresentação de conceitos, definições, ferramentas e metodologias necessárias à compreensão da realidade local, dimensionamento e importância da elaboração de um projeto fotovoltaico nestes ambientes.

Como resultado deste estudo, dimensionamos uma micro usina fotovoltaica para ambiente rural na cidade de Pau dos Ferros/RN usada para suprir potência diária 75kWh/dia com o uso de um total de 52 módulos de 395W (C53W-395P), 1 Inversor Grid-Tie 15kW Fronius Symo Brasil-15.0-3M e por 2 stringbox. O sistema gerador apresenta uma potência máxima de 17,94 kW e possui um arranjo fotovoltaico representado por 4 ligações em paralelo com 13 módulos em série cada. Ao final o sistema é capaz de gerar uma economia mensal de 882,59 reais e anual de 10.591,13 reais. Apresentou um payback de cerca de 6 anos e 8 meses com rentabilidade de aproximadamente 15,1% ao ano.

Nesse sentido, a construção de um projeto de geração fotovoltaico permitiu a análise de problemas e mostrando meios para que os mesmos fossem solucionados. Apresenta a importância de iniciativas no âmbito da sustentabilidade ambiental e na diversificação da matriz elétrica brasileira com o uso de fontes renováveis. Desta forma, mostra importante contribuição com estudos técnicos e teóricos, de modo a colaborar com a produção de artigos, trabalhos, textos, monografias ligadas ao tema em questão contribuindo diretamente com o universo acadêmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão.** 2º. Ed. Rio de Janeiro. ABNT, 2004. 209 p. Disponível em:<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr_5410.pdf>. Acesso em: 05 de março de 2019.

ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Geração Distribuída Solar Fotovoltaica: Benefícios Líquidos ao Brasil.** Seminário Internacional de Micro e Minigeração Distribuída – ANEEL. Brasília (DF), Junho de 2018.

ALVARENGA, A. C.; FERREIRA, V. H.; FORTES, M. Z. **Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar**. Sinergia, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 311-318, dez. 2014.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do brasil / ANELL.** – Brasília, 2002.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica n° 0056/2017-SRD/ANEEL**, 24 de maio de 2017 de Abril de 2012. 5p.

BRAGA, R. P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Elétrica. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

BRASIL, IBGE. **Indicadores IBGE,** 2017 – Contas nacionais trimestrais: Indicadores de volume e valores correntes. IBGE,2017.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira 2018 – Ano base 2017.** Brasília: MNE, 2018.

CAMARGO, L. T.; **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica**. Londina, 2017.

CARNEIRO, J. **Projeto Interdisciplinar II. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos: (sistemas ligados à rede e sistemas autônimos).** Apostila do 2° ano de Mestrado Integrado em Engenharia Têxtil da Universidade do Minho, campus Azurém. Guimarães, Portugal, 2009.

CARVALHO, M. M. de. **Impactos econômicos de ampliação do uso de energia solar residencial em Minas Gerais.** 2017. 98 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de desenvolvimento e Planejamento Regional. Belo Horizonte, MG, 2017.

CASTRO, R. M. G. **Introdução à Energia Fotovoltaica**. Lisboa: Universidade de Lisboa,2002. Disponível em: <http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 14 novembro 2018.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6ª. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

COUTINHO, C. R. **O efeito do sombreamento e diodos by-pass em módulos.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espirito Santo: Programa de pós-graduação em energia. São Mateus, ES, 2016.

CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito; CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, Crescesb, 1999.

CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Tutorial de energia solar fotovoltaica**. Rio de Janeiro, 11 Junho de 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=4. Acesso em: 28 Janeiro de 2019.

D'AVILA, H; RIBEIRO, K. K. X. M.; SEIKE, T. H. **Estudo de viabilidade para à implantação de um sistema distribuído fotovoltaico no edifício residencial reserva ecoville. 2017**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial Elétrica - ênfase eletrotécnica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba - Paraná, 2017.

GOETZE, F. **Projeto de microgeração fotovoltaica residencial: Estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Departamento de Engenharia Elétrica. Porto Alegre, RS, 2017.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica.** 5.ed.São Paulo: Atlas, 2003.

LANA, L. T. C. et al. **Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica.** Engenharias On-line, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2016.

NASCIMENTO, C. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica.** Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: Situação e perspectivas.** Brasília: Câmara dos Deputados, Março de 2017.

NEVES, J. L. **Pesquisa qualitativa: características, usos e possibilidades**. Caderno de pesquisa em administração, v. 1., n. 3., 1996.

PALZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. São Paulo: Hemus Livraria Editora Limitada, 1981.

PEREIRA, O. L.S; GONÇALVES, F. F. **Dimensionamento de Inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: Estudo de caso do sistema de tubarão-SC**. Revista Brasileira de Energia, v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008.

PINHO, J. T.; GALDINHO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PYSMIAN. **Instalações Elétricas Residências: Garanta uma instalação elétrica segura**. Santo André – São Paulo:2006. 136 p. Disponível em:< http://br.prysmiangroup.com/br/files/manual_instalacao.pdf>. Acesso em: 05 de março de 2019.

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1.Ed. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114p.

SANTOS, J. **A Importância da Normalização**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Pequenas Empresas. **Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil.** Brasília: Sebrae, 2018.

SILVA, V. C. S. **Pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus de Itapetinga.** Monografia (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, 2013.

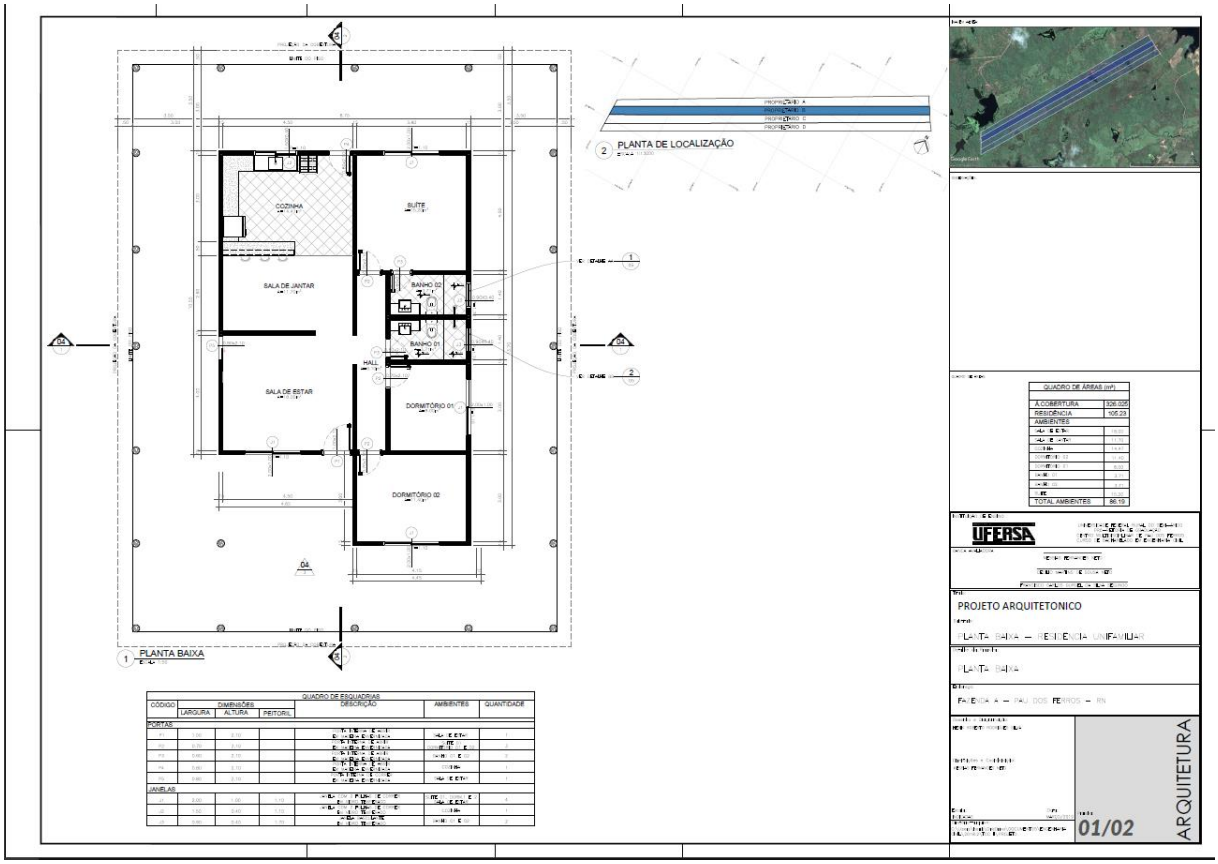
SILVA, R. R. F. da et al. **Potencial energético de um sistema de bombeamento de água via membrana de microfiltração**. 2014.

SOUZA, R. di (Coord.); PASSARI, L. R (Ed.). **Os sistemas de energia solar fotovoltaica: Livro digital de introdução aos sistemas solares.** Apostila da empresa Blue Sol. Ribeirão Preto, SP, 2016. Disponível em: http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdução-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf Acesso em: 15 de janeiro de 2019.

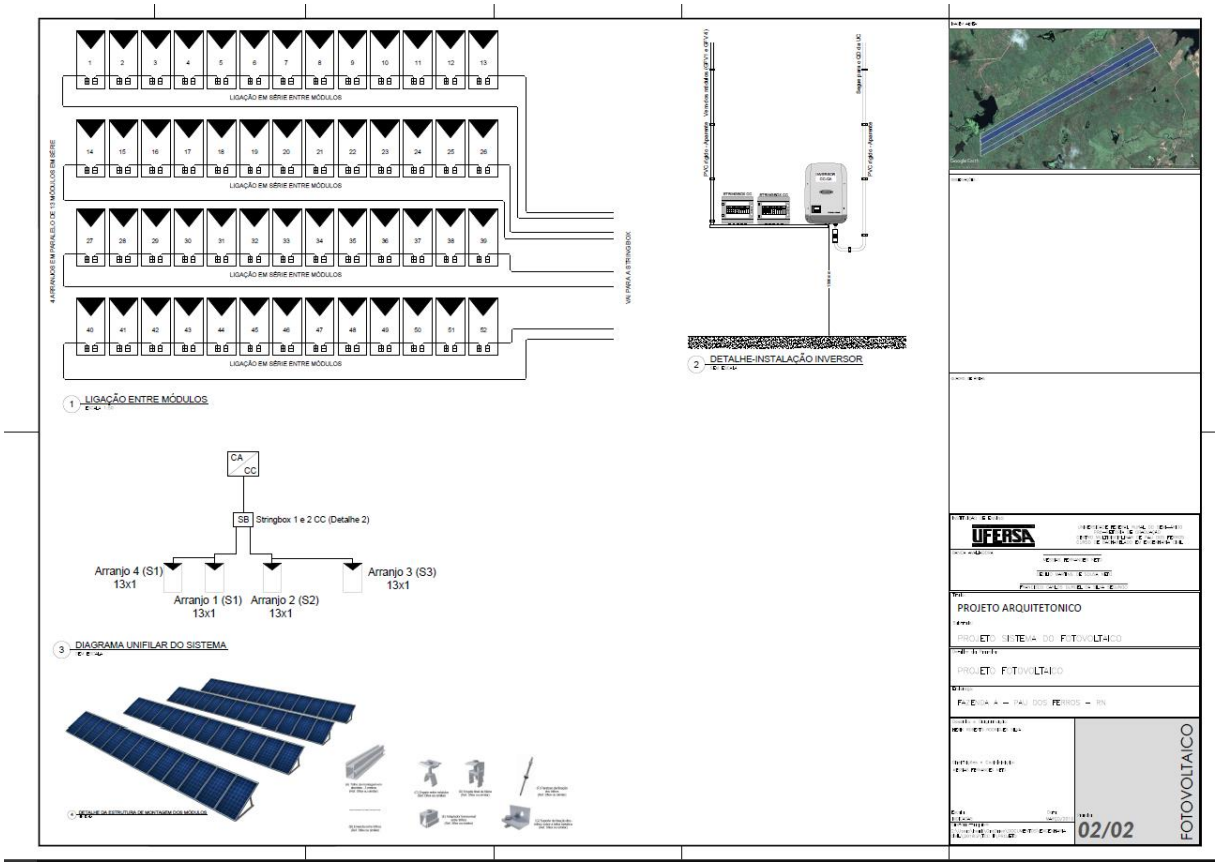
VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo, 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DA RESIDÊNCIA RURAL



APÊNDICE B – PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO



ANEXOS

ANEXO 1 – PREVISÃO DE CARGA PARA APARELHOS DE USO ESPECÍFICOS DE ACORDO COM A COSERN.

TABELA DE POTÊNCIA

Descrição dos Aparelhos	Potência (W)
Ar Condicionado (7.000 BTU/h):	900
Ar Condicionado (10.000 BTU/h):	1.400
Ar Condicionado (12.000 BTU/h):	1.600
Ar Condicionado (18.000 BTU/h):	2.600
Ar Condicionado (21.000 BTU/h):	2.800
Ar Condicionado (30.000 BTU/h):	3.600
Balcão Frigorífico:	150
Batedeira:	100 à 300
Bebedouro:	160
Cafeteira Elétrica:	725
Chuveiro Elétrico:	3.800
Conjunto de Som:	95
Enceradeira:	330
Ferro Elétrico:	1.000
Forno Microondas:	1.320
Freezer:	200
Frigo-Bar:	65
Fritador::	1.600
Geladeira:	260
Grill:	1.000
Lâmpada 40 W:	40
Lâmpada 60 W:	60
Lâmpada 100 W:	100
Liquidificador:	290
Máquina de Costura (Doméstica):	86
Máquina de Lavar Roupa:	450
Máquina de Lavar Louça:	1.700
Pipoqueira:	1.000
Sauna:	5.000
Secador de Roupa:	890
Secador de Cabelos (Doméstico):	500 a 1.200
Sorveteira:	15
Televisor:	75 a 300
Torradeira:	500 a 1.200
Ventilador:	60 a 100
Vídeo Cassete:	35

Fonte: Portal COSERN[30].

---

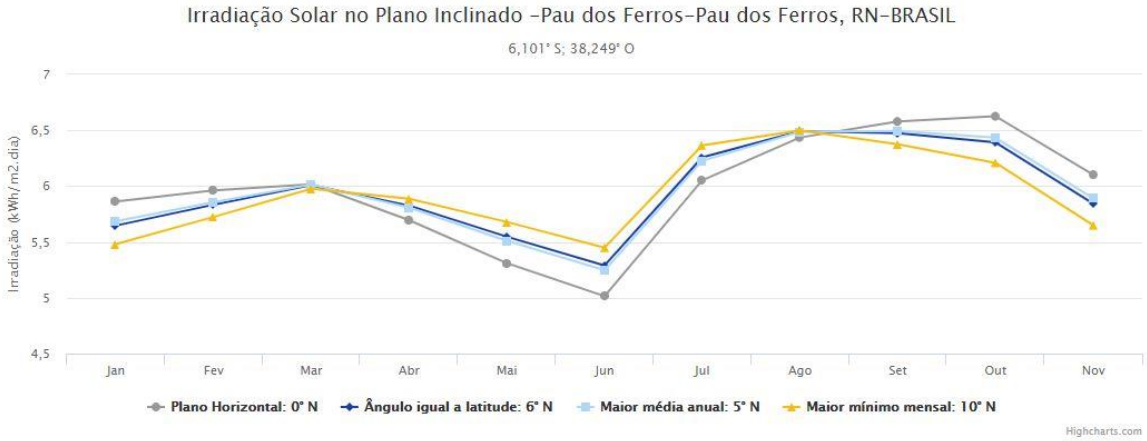
[30] Disponível em: http://servicos.cosern.com.br/residencial-rural/Pages/Padr%C3%A3o%20de%20Entrada/o-que-e-padrao-de-entrada.aspx: Acesso em 08 de Fevereiro de 2019.

ANEXO 2 – ENERGIA DIÁRIA–EM VÁRIOS PLANOS DE INCLINAÇÃO

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Pau dos Ferros
Município: Pau dos Ferros , RN - BRASIL
Latitude: 6,101° S
Longitude: 38,249° O
Distância do ponto de ref. (6,13462° S; 38,228952° O) :4,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	5,86	5,96	6,02	5,70	5,31	5,01	5,36	6,05	6,44	6,58	6,63	6,10	5,92	1,61
☑	Ângulo igual a latitude	6° N	5,65	5,83	6,01	5,83	5,55	5,29	5,64	6,26	6,49	6,47	6,39	5,84	5,94	1,20
☑	Maior média anual	5° N	5,69	5,86	6,01	5,81	5,51	5,25	5,60	6,23	6,49	6,50	6,43	5,89	5,94	1,25
☑	Maior mínimo mensal	10° N	5,48	5,72	5,98	5,89	5,68	5,45	5,80	6,37	6,50	6,38	6,21	5,65	5,92	1,05



Fonte: SunData, 2019.

ANEXO 3 – DATASHEET DO MÓDULO SOLAR CANADIAN SOLAR CS3W – 395P

NEW

Preliminary Technical Information Sheet

CanadianSolar

HiKu

SUPER HIGH POWER POLY MODULE

POWER RANGE: 390 W ~ 405 W

(EQUIVALENT TO 72 CELL FORMAT)

CS3W-390|395|400|405P

With Canadian Solar's proprietary poly wafer and cell technologies, we have developed HiKu modules, super high power poly modules up to 405 W, one of the highest poly module power output in solar market.

This product can further save system cost by reducing labor, mounting foundation, DC cables, and provide lower LCOE.

MORE POWER

- 24 % more power than conventional modules
- Up to 4.5 % lower LCOE
  Up to 2.7 % lower system cost
- Low NMOT: 42 ± 3 °C
  Low temperature coefficient (Pmax): -0.37 % / °C
- Better shading tolerance

MORE RELIABLE

- Lower hot spot temperature
- Minimizes micro-cracks
- Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

25 years — **linear power output warranty**

10 years — **product warranty on materials and workmanship**

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: 2005 & 2016: VDE / CE (Expected in May, 2018)
UL 1703: CSA (Expected in June, 2018)

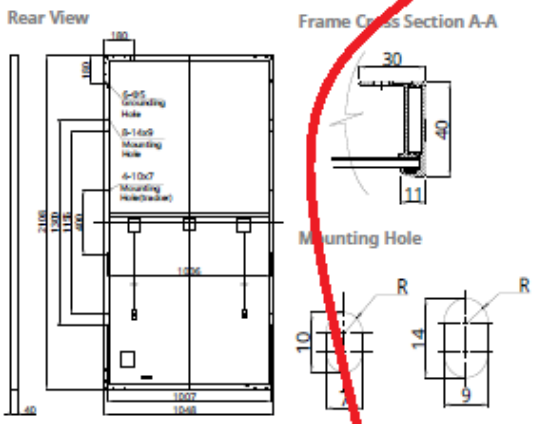
* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 25 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. is one of the most bankable solar companies worldwide.

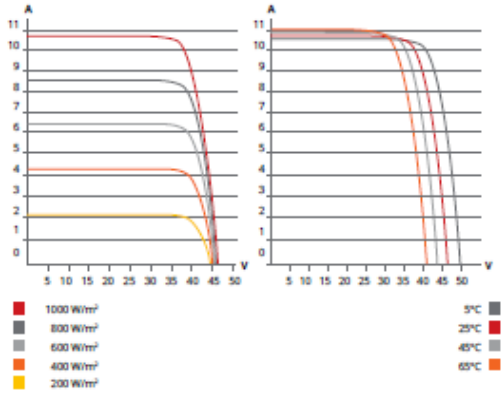
CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

Dados importantes

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3W-400P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3W	390P	395P	400P	405P
Nominal Max. Power (Pmax)	390 W	395 W	400 W	405 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.19 A	10.26 A	10.34 A	10.42 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.8 V	47.0 V	47.2 V	47.4 V
Short Circuit Current (Isc)	10.74 A	10.82 A	10.90 A	10.98 A
Module Efficiency	17.65%	17.88%	18.11%	18.33%
Operating Temperature	-40°C ~ [illegible]			
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	20 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.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	1400 mm (55.1 in), 1700 mm (66.9 in) is optional for single tracking system with leap-frog connection
Connector	T4 series
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3W	390P	395P	400P	405P
Nominal Max. Power (Pmax)	290 W	293 W	297 W	301 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.9 V	35.1 V	35.3 V	35.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.31 A	8.35 A	8.42 A	8.48 A
Open Circuit Voltage (Voc)	43.8 V	44.0 V	44.2 V	44.4 V
Short Circuit Current (Isc)	8.67 A	8.72 A	8.78 A	8.85 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.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Fonte: Adaptado catálogo Canadian Solar, 2018.[31]

[31] Disponível em: https://www.gemenergy.com.au/wp-content/uploads/2018/07/Canadian-Solar-DSHiKu-CS3W-P-High-Efficiency-1000V1500V-390-405W-Apr18.pdf. Acesso em 05 de março de 2019.

ANEXO 4 – DATASHEET DO INVERSOR FRONIUS 15.0-3 208/240

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

Fronius
SHIFTING THE LIMITS

FRONIUS SYMO BRASIL

/ O futuro da energia solar comercial está aqui - Novo Fronius SYMO Brasil

PARA REDE 220V /127V

/ O Fronius Symo Brasil possui categorias de potência 10,12 e 15 kW e completa a nova geração SnapINverter. É um inversor transformador Trifásico, com rendimentos mais elevados e a forma inteligente Fronius PP-tracking. Com este inversor não será mais necessário instalar um transformador externo, a fim de se conectar à rede de 3 fases , além de ser ideal para plantas comerciais, feito para rede 220V/127V. Seu design inovador SuperFlex fornece o máximo de flexibilidade na concepção do sistema, enquanto a montagem SnapINverter torna a instalação e manutenção mais fácil do que nunca. O pacote de comunicação incluído mesmo no modelo padrão, com WLAN, gestão de energia, várias interfaces e muito mais. O melhor vem agora: Este inversor já está disponível!

DADOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO BRASIL

DADOS GERAIS	PADRÃO COM TODOS OS MODELOS SYMO
Dimensões (altura x largura x profundidade)	511 x 724 x 227 mm
Grau de proteção	NEMA 4X
Consuno Noturno	< 1 W
Conceito retificador	Sem transformador
Resfriamento	Velocidade do ventilador variável
Instalação	Montagem interna e externa
Faixa de temperatura ambiente	-40 - +60 °C
Umidade relativa permitida	0 - 100 %
Tecnologia de conexão de rede	6x CC+ e 6x CC- parafusos finais de cobre (solidos / flexivel/ fine stranded) ou aluminio (solido / flexivel)
Principal tecnologia de conexão	Screw terminals 14-6 AWG
Certificados e compliance para modelo básico	UL 1741-2010, UL1998 (para funções AFCI and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC Article 690, C22. 2 No. 107.1-01 (Setembro 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013, ABNT NR 16149

DADOS GERAIS	10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	15.0-3 48/240
Peso	29 kg	29 kg	42 kg

DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	PADRÃO COM TODOS OS MODELOS FRONIUS SYMO
AFCI & 2014 NEC Ready	Sim
Medição de isolamento CC	Sim
Disjuntor CC	Sim
Proteção à falhas com tela de interrupção	Sim

DADOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO BRASIL

DADOS DE ENTRADA		10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	15.0-3 208/240
Potencia PV recomendada (kWp)		8.0 - 13.0	9.5 - 15.5	12.0 - 19.5
Max. corrente do conjunto curto-circuito (MPPT1/MPPT 2)		25.0 A / 16.5 A		50.0A
Faixa de voltagem MPP		300 - 500 V	300 - 500 V	350 - 800 V
Faixa de voltagem operando		200 - 600 V	200 - 600 V	350 - 1000 V
Max. tensão de entrada		600 V	600 V	1000 V
Tensão nominal de entrada	208	350 V	350 V	325 V
	220 / 240	370 V	370 V	NA
Número de MPPT		2		1

DADOS DE SAIDA		10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	15.0-3 208/240
Max. potência de saída	208	9995 VA	11995 VA	15000 VA
	220 / 240	9995 VA	11995 VA	NA
Max. corrente de saida	208	31.5 A	35.0 A	41.6 A
	220 / 240	29.7 A / 27.3 A	35.0 A / 32.8 A	NA
Max. Eficiencia		97.0 %	97.0 %	97.3 %
CEC Eficiencia	208	96.5 %	96.5 %	96.5 %
	240	96.5 %	96.5 %	NA
Conexão Grid ($U_{ac,r}$)		208/240	208/240	208 V
Frequencia(f_r)		60 Hz		
Fator de distorção		< 1.75 %		< 3.5 %
Fator de potencia		0 - 1 ind./cap.		

INTERFACES	PADRÃO PARA TODOS OS MODELOS FRONIUS SYMO
Wi-Fi*/Ethernet/Serial	Wireless padrão 802.11 b/g/n / Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSON / SunSpec Modbus RTU
6 inputs and 4 digital I/Os	Gerenciamento de carga; sinalização, multiuso I / O
USB (A socket)	Datalogging and atualização do inversor é possível via USB
2x RS422 (RJ45 socket)	Fronius Solar Net, interface protocolo
Datalogger e Webserver	Incluso

* O termo Wi-Fi® é uma marca registrada da Wi-Fi Alliance. ** + N para fins de detecção - sem condutor de corrente

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

NÓS TEMOS TRÊS DIVISÕES E UMA PAIXÃO: SUPERAR OS LIMITES DO POSSÍVEL.

/ Seja na Tecnologia de soldagem, no fotovoltaico ou na tecnologia de carregadores de bateria, o nosso objetivo é claro: queremos ser líderes em inovação. Com aproximadamente 3.300 funcionários em todo o mundo, nós superamos os limites do que é possível, como prova disso temos mais de 900 patentes concedidas. Enquanto os outros se desenvolvem lentamente, nós ultrapassamos barreiras. Desde sempre. O uso responsável de nossos recursos é a base do nosso negócio.

Para obter mais informações sobre todos os produtos Fronius e nossos parceiros de distribuição e representantes, visite www.fronius.com

v05 May 2015 PB

Rev.26.2.15 BRA

Fronius do Brasil Comércio Indústria e Serviços Ltda

Escritório central
Av. Dr. Ulysses Guimarães, 3389
Vila Nogueira, Diadema, SP
CEP: 09990-080
Telefone +55 11 3563-3800
Fax +55 11 3563-3777
vendas.solar@fronius.com
www.fronius.com.br

Filial AM
R. Armando Mendes, 33
Armando Mendes
CEP: 69089-321
Manaus AM
Cel +55 92 8249-1415

Filial RS
R. Inspetor Valdemar P. Arruda, 309 -
Cinquentenário - Caxias do Sul
CEP 95012-640 - RS
Tel.: +55 54 8115-6257

Filial SP Interior
R. Padre Francisco Van Der Maas, 12-25
Jd. Contorno - Bauru
CEP 17047-020
Tel. +55 14 98111-6277

Filial MG
Rua LL, 213
Arvoredo
Contagem - MG
CEP. 323113-188
Tel +55 31 3472-6000

Filial PR
Rua John Lennon, 225
Afonso Pena, São José dos Pinhais - PR
CEP. 83050-380
Tel +55 41 3283-6217

Fonte: Fronius Symo Brasil,2015.

ANEXO 5 – DATASHEET DO INVERSOR FRONIUS 15.0-3M

If you use this site, you agree to our use of Cookies. More information

FRONIUS INTERNATIONAL

Fronius
SHIFTING THE LIMITS

deutsch | english

Fronius Symo 15.0-3-M

Maximum flexibility for the applications of tomorrow.

SMART GRID READY

Boasting power categories ranging from 3.0 to 20.0 kW, the transformerless Fronius Symo is the three-phase inverter for systems of every size. The high system voltage, wide input voltage range and two MPP trackers ensure maximum flexibility in system design. The standard interface to the internet via WLAN or Ethernet and the ease of integration of third-party components make the Fronius Symo one of the most communicative inverters on the market.

The Fronius Symo 15.0-3 can perfectly be installed in a Fronius Power Package

Note: Product availability and data will vary by location. Please visit your specific country's website for available products and information.

Technical Data

INPUT DATA	Fronius Symo 15.0-3-M
Max. input current ($I_{dc\ max1}$ / $I_{dc\ max2}$)	33.0 A / 27.0 A
Max. usable input current total ($I_{dc\ max1}$ + $I_{dc\ max2}$)	51.0 A
Max.array short circuit current (MPP_1 / MPP_2)	49.5 A / 40.5 A
Min. input voltage ($U_{dc\ min}$)	200 V
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)	200 V
Nominal input voltage ($U_{dc,r}$)	600 V
Max. input voltage ($U_{dc\ max}$)	1,000 V
MPP voltage range ($U_{mpp\ min}$ - $U_{mpp\ max}$)	320 - 800 V
Number of MPP trackers	2
Number of DC connections	3 + 3
Max. PV generator output ($P_{dc\ max}$)	22.5 kW_{peak}
OUTPUT DATA	
AC nominal output ($P_{ac,r}$)	15,000 W
Max. output power	15,000 VA
AC output current ($I_{ac\ nom}$)	21.7 A
Grid connection (voltage range)	3~NPE 400 V / 230 V or 3~NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)
Frequency (frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)

Total harmonic distortion	1.5 %
Power factor (cos $\varphi_{ac,r}$)	0 - 1 ind. / cap.
GENERAL DATA	
Dimensions (height x width x depth)	725 x 510 x 225 mm
Weight	43.4 kg
Degree of protection	IP 66
Protection class	1
Overvoltage category (DC / AC)[1)]	2 / 3
Night time consumption	< 1 W
Inverter design	Transformerless
Cooling	Regulated air cooling
Installation	Indoor and outdoor installation
Ambient temperature range	-25°C to +60°C
Permitted humidity	0 % to 100 %
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)
DC connection technology	6x DC+ and 6x DC- screw terminals 2.5 mm² - 16 mm²
AC connection technology	5-pin AC screw terminals 2.5 mm² - 16 mm²
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097
EFFICIENCY	
Max. efficiency	98.1 %
European efficiency (ηEU)	97.8 %
η at 5 % $P_{ac,r}$[2)]	91.2 / 94.8 / 92.3 %
η at 10 % $P_{ac,r}$[2)]	93.4 / 96.0 / 94.4 %
η at 20 % $P_{ac,r}$[2)]	95.9 / 97.4 / 96.7 %
η at 25 % $P_{ac,r}$[2)]	96.2 / 97.6 / 97.0 %
η at 30 % $P_{ac,r}$[2)]	96.5 / 97.8 / 97.3 %
η at 50 % $P_{ac,r}$[2)]	96.9 / 98.1 / 97.7 %
η at 75 % $P_{ac,r}$[2)]	97.0 / 98.1 / 97.8 %
η at 100 % $P_{ac,r}$[2)]	97.0 / 98.1 / 97.7 %
MPP adaption efficiency	> 99.9 %
PROTECTIVE DEVICES	
DC insulation measurement	Yes
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation
DC disconnector	Yes
Reverse polarity protection	Yes
INTERFACES	
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver
USB (type A socket)[3)]	Datalogging, Iverter update via USB flash drive
2 x RS422 (RJ45 socket)[3)]	Fronius Solar Net, Interface protocol

Fonte: Fronius Symo ,2015.

ANEXO 6 – DATASHEET DO DISJUNTOR SUNTREE CC 16A 1000 VDC 4 POLOS

Aplicação

Os protetores suplementares do disjuntor SL7 PV DC são projetados para fornecer proteção contra sobrecorrente dentro de aparelhos ou equipamentos elétricos, onde uma proteção de circuito de ramificação já é fornecida ou não é necessária. Os dispositivos são projetados para aplicações de circuitos de controle de corrente contínua (CC).

Especificações

SL7 PV Series Circuit Breaker		SL7-63			
Frame degree rated current (A)		63			
Electrical performance					
Ue Rated operating voltage (V DC)		AC250V AC415V DC440V DC550V DC800V DC1000V			
Rated Current In (A)		6-10-16-20-25-32-40-50-63			
Rated insulation voltage Ui (V DC)		1000V			
ated Impact voltage Uimp (kV)		4			
Ultimate breaking capacity Icu (kA)		6	6	6	6
Run breaking capacity Ics (96Icu)		7596	7596	7596	7596
Curve type		C			
Trip type		Thermal-magnetic			
MECHANICAL	Actual average value	20000			
	Standard value	8500			
ELECTRIC	Actual average value	2500			
	Standard value	1500			
Control and indication					
Shunt release (SHT)		Option			
Undervoltage release (UNT)					
Auxiliary contact (AX)					
Alarm contact (AL)					
Connection and installation					
Wiring capacity (mm²)		In ≤ 32A, 1~25 mm², I ≥ 40A, 10~35mm²			
Ambient temperature (℃)		-20~70			
Altitude		≤ 2000			
Relative humidity		≤ 9596			
Pollution Level		3			
Installation Environment		No obvious shock and vibration			
Installation category		Class Ⅱ			
Installation		DIN Standard rail			
Dimensions(W)x(H)x(Deep)	W	17.5	35	52.5	70
	H	80	80	80	80
	Deep	71	71	71	71
Weight (kg)		0.12	0.24	0.36	0.48

Fonte: Panda energia solar, 2019.[32]

ANEXO 7 – DATASHEET DO DPS CC – 600V-40KA-FOTOVOLTAICO TOMZN

Descrição

DPS Protetor Surto Bipolar 40kA 600VDC - TOMZN

Dados do equipamento:

Classe de proteção: C
Max. Tensão de operação contínua (UC): ~ 600VDC
Corrente de descarga nominal (8/20/20µs) (em): 20KA
Max. corrente de descarga (8/20/20µs) (Imax.): 40KA
Nível de proteção de tensão (up): =1. 8KV
Tempo de resposta: <25ns
Corrente de fuga: =20µA
Ambiente de trabalho: Temperatura -40 ° C + 80 ° C;
Umidade relativa <95%;
Indicar deterioração: Verde (normal), vermelho (necessidade de troca)
Modo de proteção: L-PE, N-PE (1 p, 2 p, 3 p, 3 P + N)
Material exterior: Materiais retardadores de chama

Fonte: Mercado Livre, 2019.[33]

---

[32] Disponível em: https://pandaenergiasolar.lojaintegrada.com.br/disjuntor-30a-1000-vdc-4-polo. Acesso 14 de março de 2019.

ANEXO 8 – DATASHEET DO PORTA FUSÍVEL COM FUSÍVEL 16A 1000V CC WOLDSUNLIGTH

Item Incluso: 1 Porta Fusivel com 1 fusivel interno de 16A 1000Vdc

Descrição do Produto

Característica

Modelo número: WSPV-32 série
tamanho Fusível: 10 x 38 milímetros
Dc tamanho Base: 18X60X78mm
Com Fusivel interno: 16A
Padrão : IEC / EN60269
Tensão nominal: 1000VDC
Maior capacidade de bloqueio: 33kA
Capacidade Fio (mm): 2,5-10
Temperatura de trabalho: "- 5" a "+40"
Grau de proteção: IP20
Instalação: 35MM DIN

Fonte: Panda energia solar, 2019.[34]

ANEXO 9 – GRÁFICO OBTIDO NA PLATAFORMA NEOSOLAR PARA A ECONOMIA DO SISTEMA AO LONGO DOS ANOS.

Fonte: Portal NeoSolar, 2019.[35]

---

[33] Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-766680366-dps-protetor-de-surto-bipolar-dc-600v-40ka-fotovoltaico-_JM?matt_tool=17674455&matt_word&gclid=CjwKCAjw4LfkBRBDEiwAc2DSlAqcZ-YpB0ykjsgzc2eghRNe9xUABYXcRyKm42RkzdZlj8OxLdmLSRoCeYEQAvD_BwE&quantity=1. Acesso em 14 de março 2019.

[34] Disponível em:https://pandaenergiasolar.lojaintegrada.com.br/porta-fusivel-com-fusivel-16a-1000-vdc-worldsunlight. Acesso em 14 de março de 2019.

[35] Disponível em: https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica-resultado. Acesso 27 de março de 2019.