



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

FRANCISCO FÁBIO MAIA

**VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO USO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO EM UMA ESCOLA MUNICIPAL DE SÃO MIGUEL/RN.**

FRANCISCO FÁBIO MAIA

**VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO USO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO EM UMA ESCOLA MUNICIPAL DE SÃO MIGUEL/RN.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado, a
Universidade Federal Rural do Semi - Árido -
UFERSA, Campus Pau dos Ferros, como requisito
para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária..

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Kytéria Sabina Lopes de
Figueredo.

© Todos os direitos estão reservados a 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 nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-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.

M217v Maia, Francisco.
 Viabilidade Ambiental e Econômica do uso de um
 Sistema Fotovoltaico em uma Escola Municipal de
 São Miguel/RN / Francisco Maia. - 2022.
 51 f. : il.

 Orientadora: Kytéria Sabina Lopes de Figueredo.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
 Ambiental e Sanitária, 2022.

 1. Energia Solar. 2. Sistema Fotovoltaico. 3.
 Viabilidade Ambiental. 4. Consumo Energético. I.
 Lopes de Figueredo, Kytéria Sabina, orient. II.
 Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em
conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da
Silva CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO FÁBIO MAIA

**VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO USO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO EM UMA ESCOLA MUNICIPAL DE SÃO MIGUEL/RN**

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado a Universidade Federal Rural
Do Semi- Árido – UFERSA, *Campus* Pau
dos Ferros, como parte das exigências para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

DATA DE APROVAÇÃO: 17 DE NOVEMBRO DE 2022.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 KYTERIA SABINA LOPES DE FIGUEREDO
Data: 05/12/2022 16:52:21-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profª Dra. Kytéria Sabina Lopes de Figueredo – Orientadora
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA/CMPF

Documento assinado digitalmente
 DANIELA DE FREITAS LIMA
Data: 25/11/2022 11:33:59-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profª Dra. Daniela de Freitas Lima – 1º Membro
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA/CMPF

Documento assinado digitalmente
 SHARON DANTAS DA CUNHA
Data: 05/12/2022 17:19:58-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Sharon Dantas da Cunha – 2º Membro
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA/CMPF

*Dedico este trabalho aos amigos e familiares queridos, em
especial à minha mãe Maria Aurea Maia.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha pessoa pela imensa coragem, paciência (quase no fim) e persistência de cada dia dos longos, cansativos e demorados anos que se decorreram até aqui.

À professora Kytéria Sabina Lopes de Figueredo cujas orientações possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

À todos os meus irmãos e irmãs que contribuíram de alguma forma por essa conquista, especialmente a minha querida irmã Ana Thais Maia, aos amigos e amigas que me deram força nessa batalha, em especial a Lindolfo Teófilo pela ajuda aqui retribuída.

“É a escada do seu velho sonho
Que vai dar sempre onde começou...”
(A pedra do Gênesis, 1988 - Raul Seixas)

RESUMO

O Brasil possui expressivo potencial para geração de energia elétrica a partir de fonte solar, contando com níveis de irradiação solar superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha, França e Espanha, locais onde projetos de aproveitamentos solares são amplamente disseminados. 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. Diante disso, a aplicação da energia solar pode ter benefícios a longo prazo para o país, avançando no desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da eletrificação pela rede convencional é muito alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em situações de estiagem, resumindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo os lançamentos de gases poluentes à atmosfera. Sendo assim, o presente trabalho visa analisar a viabilidade ambiental e econômica de implantação de painéis fotovoltaicos em uma escola do município de São Miguel/RN, buscando suprir o consumo energético.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, sistema fotovoltaico, viabilidade ambiental, Consumo energético.

ABSTRACT

Brazil has an expressive potential for electricity generation from solar sources, with solar irradiation levels higher than in most European countries, such as Germany, France, and Spain, where solar projects are widely spread. In Brazil, the energy matrix is basically composed of two main sources: petroleum and hydroelectric plants. Although the latter uses renewable natural resources, they cause environmental and social impacts from the expropriation and flooding of large areas. In view of this, the application of solar energy can have long-term benefits for the country, advancing the development of remote regions where the cost of electrification by the conventional grid is very high in relation to the financial return on investment, regulating the supply of energy in situations of drought, reducing the dependence on the oil market and reducing the release of polluting gases into the atmosphere. Therefore, the present work aims to analyze the environmental and economic viability of implanting photovoltaic panels in a school in the city of São Miguel/RN, seeking to supply energy consumption.

KEY WORDS: Solar energy, photovoltaic system, environmental viability, energy consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais componentes do sistema fotovoltaico-----	14
Figura 2: Módulos fotovoltaicos monocristalinos, policristalino e filme fino, respectivamente---	15
Figura 3: Inversor da marca Fronius-----	15
Figura 4: Controlador de carga modelo PWM 60A 12/24V – Epver Viewstar VS6024AU-----	16
Figura 5: Cabos condutores utilizados nos sistemas fotovoltaicos-----	17
Figura 6: Bateria estacionária modelo Moura Solar 12M234 (220Ah)-----	17
Figuras 7 e 8: Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego-----	20
Figura 9: Localização da Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego-----	20
Figura 10: Valor da irradiação solar no ângulo igual a latitude-----	27
Figura 11: Gráfico da irradiação solar no plano inclinado-----	27
Figura 12: Paine solar QUARTCH CS6P-260/265/270P-----	29
Figura 13: Inversor Fronius Primo 3.6-1.	30
Figura 14: Croqui da disposição dos módulos fotovoltaicos-----	32
Figura 15: Fatura de energia da Escola Municipal Carlos Dias do Rego de Ensino Infantil e Fundamental (abril/2022).	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. PROBLEMATIZAÇÃO.....	6
3. OBJETIVOS.....	7
3.1 OBJETIVO GERAL.....	7
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4. JUSTIFICATIVA.....	8
5. REVISÃO TEÓRICA.....	9
5.1 EFEITO FOTOVOLTAICO.....	9
5.2 RADIAÇÃO SOLAR.....	9
5.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL-----	10
5.4 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO USO DA ENERGIA FOTOVOLTAICO-	11
5.5 RESOLUÇÕES E NORMATIZAÇÕES	12
551 Resolução Nº 482 de 2012.....	12
552 Normatização-----	13
5.6 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO-----	13
561 os Fotovoltaicos ou painel solar.....	14
562 Inversores.....	15
563 res de cargas.....	16
564 es.....	16
565 Baterias.....	17
6. METODOLOGIA.....	18
6.1 O Município de São Miguel-RN.....	19
6.2 Localização da escola.....	20
6.3 Coleta de dados.....	21
6.4 Dimensionamento do sistema fotovoltaico-----	21
641 os fotovoltaico.....	21
642 Escolha do inversor.....	23
643 Número máximo de módulos conectados ao inversor-----	24
644 Quantidade de strings em paralelo conectados ao inversor-----	24
645 Área de instalação.....	24
6.5 Viabilidade econômica.....	25
6.5.1 Custo mensal da fatura de energia sem o SFV-----	25
6.5.2 Custo mensal da fatura de energia com o SFV-----	25
6.5.3 Custo econômico com a geração fotovoltaica-----	25
6.5.4Orçamento do projeto.....	25

6.5.5 Tempo de retorno (payback).....	-.....26
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
7.1. Dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado a rede-----	26
7.2. Escolha do inversor.....	30
7.3. Número máximo de módulo conectado ao inversor-----	31
7.4. Quantidade de strings em paralelo conectado ao inversor-----	31
7.5 Área de instalação.....	31
7.6. Viabilidade econômica.....	32
7.7. Custo mensal da fatura de energia sem o SFV-----	32
7.8. Custo economizado sem a geração FV.....	34
7.9. Custo economizado com a geração FV.....	34
8.0 Orçamento do projeto.....	34
8.1. Tempo de retorno (Payback).....	35
8 CONCLUSÃO-----	36
9 REFERÊNCIAS-----	37
ANEXO 1 – DATASHEET DO MÓDULO FOTOVOLTAICO-----	40
ANEXO 2 – DATASHEET DO INVERSOR-----	42

1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio. A rigor, a energia proveniente do Sol não é renovável, mas uma fonte inesgotável levando em consideração a escala de tempo da vida no planeta Terra. O Sol é uma estrela de tamanho médio e a energia irradiada por ele é consequência das reações de fusão nuclear dos átomos de Hidrogênio (representam cerca de 75% da composição do Sol) para formar Hélio (cerca de 25% da composição do Sol). A taxa de energia emitida pelo Sol é aproximadamente constante há bilhões de anos com uma potência atual da ordem de 3,86. 10²⁶ W (PEREIRA, *et al.* 2017). A temperatura efetiva na superfície do Sol é da ordem de 5780 K (5506,85° C) (PEREIRA, *et al.* 2017).

Diferente das fontes convencionais de energia utilizadas, a energia solar é temporalmente intermitente e apresenta uma variabilidade espacial elevada em razão de sua forte relação com condições meteorológicas locais (cobertura de nuvens, concentração de gases atmosféricos, sistemas sinóticos entre outros) e fatores astronômicos associados aos movimentos orbital e de rotação da Terra. A radiação solar é uma opção limpa e renovável de produção de energia. Um país como Brasil, que está localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial de energia solar durante todo ano (PEREIRA, *et al.* 2017).

O Brasil possui expressivo potencial para geração de energia elétrica a partir de fonte solar, contando com níveis de irradiação solar superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha, França e Espanha, locais onde projetos de aproveitamentos solares são amplamente disseminados (NASCIMENTO, 2017).

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; SEIKE, 2017).

Mesmo contando com altos níveis de irradiação solar, a fonte solar ainda não possui muita relevância na matriz elétrica brasileira quando comparada a outras fontes de energias renováveis e não renováveis. Porém, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), este cenário está mudando.

Os benefícios do crescimento do uso da fonte solar para o Brasil abrangem tanto a esfera ambiental, contribuindo para a redução de emissões de gases de efeito estufa, geração de energia limpa e sustentável, quanto a esfera socioeconômica, com a redução de gastos com

a energia elétrica, atração de novos investimentos privados, geração de emprego e redução de gastos com transmissão e distribuição de energia elétrica (NASCIMENTO, 2017).

Portanto, a utilização de fontes renováveis de energia como alternativa sustentável, desponta como medida que visa garantir a utilização dos recursos naturais pela atual geração sem comprometê-los para as gerações futuras. Neste contexto tem-se a energia solar fotovoltaica. Por isso muitos países buscam adotar medidas de eficiência energética em prédios públicos como forma de contribuir para redução de emissões que afetam o clima, ou até mesmo pela representação tecnológica (Brasil, 2020).

Diante disso, a aplicação da energia solar pode ter benefícios a longo prazo para o país, avançando no desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da eletrificação pela rede convencional é muito alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em situações de estiagem, resumindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo os lançamentos de gases poluentes à atmosfera (Brasil, 2020).

Sendo assim, o presente trabalho visa analisar a viabilidade ambiental e econômica implantação de painéis fotovoltaicos em uma escola do município de São Miguel/RN para geração de energia no sistema BAPV (*Building Applied Photovoltaics* - Sistema Fotovoltaico aplicado a edificação), buscando suprir o consumo energético. Trata-se da Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego (EMCARDR) de Ensino Infantil e Fundamental, localizada na área urbana município.

2. PROBLEMATIZAÇÃO

A crise energética constitui um dos grandes desafios da atualidade, decorrentes de fatores relacionados à crise, como a redução das reservas petrolíferas mundiais, impactos ambientais causados pelo uso contínuo e desgovernado de fontes de energia poluentes, a escassez de recursos naturais e o aumento da demanda por oferta de energia, gerando incertezas sobre o futuro energético global. Diante desse problema, surgiram iniciativas ambientais que têm ganhado cada vez mais espaço na sociedade para discussão desses problemas, onde se buscam fontes alternativas de energia que sejam capazes de reduzir os impactos causados ao meio ambiente. Nesse sentido, a energia solar vem se apresentando como uma grande alternativa para atender à crescente demanda energética e expandir o acesso à energia em lugares aonde a construção de redes elétricas convencionais são inviáveis (SILVA, 2017).

Sabemos que algumas escolas do país a fora apresentam algum tipo de necessidade, como por exemplo o consumo de energia, daí, podemos destacar a importância dos sistemas fotovoltaicos instalados nessas escolas, que vai fazer com que se reduza o consumo de energia das mesmas. Nesse contexto, surge a necessidade de saber a real viabilidade econômica e sustentável da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de baixa tensão em uma escola pública no município de São Miguel/RN. Além disso, é necessário entender a relevância que a instalação desse sistema vai proporcionar para a comunidade escolar em questão.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade ambiental e econômica do uso de um sistema de placas fotovoltaicas em uma escola no município de São Miguel/RN para fins de promover o melhor uso dos recursos energéticos e a redução dos impactos ambientais.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar um estudo de métodos de captação de energia solar;

Identificar o posicionamento para obter a maior eficiência energética dos módulos fotovoltaicos;

Dimensionar um sistema fotovoltaico para a Eescola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego - EMCADR;

Analisar a viabilidade Ambiental da implantação do sistema fotovoltaico na referida escola;

Verificar a viabilidade econômica de implantação de energia fotovoltaica;

4. JUSTIFICATIVA

Ampliar e direcionar estudos sobre a geração de energia solar em escolas municipais, é necessário, sobretudo no nordeste brasileiro, onde se tem um enorme potencial de produção de energia através de fonte solar. Outra preocupação, é tornar a tecnologia das células solares mais acessíveis, de modo que alunos, professores e demais colaboradores da escola conheçam a tecnologia, além de incitar o debate sobre a produção de energia a partir de fontes renováveis.

Essa pesquisa, propõe a análise de viabilização ambiental e econômica de novas tecnologias e a implementação de sistemas energéticos sustentáveis, tendo como base, estudo de edificações de escolas públicas. Com as frequentes crises energéticas no Brasil, estudos voltados para a viabilidade econômica de novas tecnologias sustentáveis são fundamentais para a disseminação dessa prática no âmbito econômico e ambiental. Além disso, a divulgação no meio acadêmico é de grande importância para expansão do conhecimento, levando para os jovens, a discussão de questões ambientais e tecnológicas.

Portanto, a utilização de energia fotovoltaica, e a sua aplicação em escolas públicas, é favorável tanto para a redução de gastos econômicos, quanto para a diminuição do impacto no meio ambiente. E tendo em vista que as escolas são o berço da sociedade e possuem papel de grande importância na formação de crianças e jovens, é evidente que o contato com tecnologias sustentáveis favorece a construção de uma sociedade coletiva, e de adultos mais engajados na conservação do meio ambiente (SILVA, 2017).

5. REVISÃO TEÓRICA

5.1 EFEITO FOTOVOLTAICO

A definição de energia fotovoltaica é a utilização de ondas eletromagnéticas, captadas por placas solares montadas a partir de um sistema de células solares. Essas células são constituídas por materiais que possuem propriedades físicas que ajudam na produção do efeito fotovoltaico (JARDIM, 2004).

Segundo Barros (2011), o efeito fotovoltaico acontece em materiais chamados de semicondutores, caracterizados por possuírem uma banda de energia onde é permitida a presença de elétrons, e outra banda vazia de condução, para o autor, o semicondutor atualmente mais utilizado é o silício, por seus átomos formarem uma rede cristalina e possuírem quatro elétrons de ligação.

O princípio físico de funcionamento dos módulos fotovoltaicos é denominado efeito fotovoltaico (foto= luz; volt= eletricidade), que é o fenômeno apresentado por determinados materiais que, expostos à luz, produzem eletricidade, (MAYCOCK, 1981; TREBLE, 1991).

Atualmente é observado um desenvolvimento acelerado da indústria fotovoltaica, que visa ampliar o uso em massa de energia solar e a substituição de matrizes de energia convencionais (ANEEL, 2013).

5.2 RADIAÇÃO SOLAR

Borges *et al.*, (2010). define que radiação solar é a força motriz para muitos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem no sistema superfície-atmosfera, e constitui-se em uma importante variável meteorológica em estudos de necessidade hídrica de culturas, modelagem do crescimento e produção vegetal, mudanças climáticas, entre outros. Essa quantidade de radiação solar que chega à superfície terrestre não é uniforme no globo, ela é influenciada por três fatores: o período do ano e do dia, determinados pela distância média planeta-sol, excentricidade e latitude terrestre, respectivamente, que controlam a quantidade da densidade do fluxo de energia solar que chega na superfície (HARTMANN, 1994; AYOADE, 1983).

Para Bezerra (2021), a disponibilidade de energia solar na superfície terrestre é muito superior à demanda global de energia elétrica. À medida que as tecnologias que fazem uso da energia solar se tornam mais competitivas ante outras opções, a participação dessa fonte na matriz elétrica tende a crescer. Isto já se verifica em diversos países, inclusive no Brasil. Para

o futuro, as projeções indicam aumento expressivo da participação da fonte solar na matriz de geração de energia elétrica mundial, tendendo a se manter nos próximos anos, face ao apelo para a produção de energia a partir de fontes renováveis, às perspectivas de redução do custo de geração e ao aumento da eficiência da tecnologia fotovoltaica.

5.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

A energia elétrica fotovoltaica é gerada a partir da energia solar por meio da conversão direta de energia luminosa em eletricidade, chamada efeito fotovoltaico que nada mais é do que o surgimento de uma diferença de potencial entre dois semicondutores com características elétricas diferentes (NASCIMENTO, 2019). Com isso, os painéis de células fotovoltaicas possibilitam um aproveitamento mais amplo da radiação solar, principalmente em regiões tropicais, que contam com uma alta taxa de insolação durante boa parte do ano como é o caso do Brasil. Assim, no Brasil, esse tipo de energia significa menor dependência da energia hidrelétrica, a qual implica, comparativamente, em maior impacto socioambiental negativo. De acordo com a segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), o Brasil possui um alto potencial fotovoltaico, por exemplo, no local menos ensolarado do país, é possível gerar mais eletricidade do que no local mais ensolarado da Alemanha.

Segundo (SOARES & SANTOS, 2020), a sustentabilidade está ligada às ações da sociedade quanto à utilização dos recursos naturais; a sua principal reflexão está relacionada à conscientização do consumo da sociedade atual e os efeitos disso para as gerações que estão por vir. Entretanto, alguns recursos são renováveis, outros não. Com base nesta perspectiva, a grande preocupação da sustentabilidade está relacionada justamente na utilização das fontes não renováveis de recursos naturais, sabendo que o desequilíbrio ambiental pode ser percebido através das mudanças climáticas e desastres ecológicos, que de certa forma, sempre nos atinge. Nesse sentido, Graciolli (2017) aponta que o desenvolvimento da sustentabilidade ambiental é importante para manter o equilíbrio do ambiente, que basicamente interfere na qualidade de vida da sociedade atual e futuras.

Siqueira (2020), vai relatar que o objetivo de Desenvolvimento Sustentável defendido pela ONU (Organização das Nações Unidas), é assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos, remetendo à busca de tecnologia para cada vez mais associar o uso das energias alternativas acessíveis e limpas – ao da energia elétrica e dos combustíveis fósseis, que já compõem a matriz energética. Para os países em desenvolvimento, com seus problemas emergenciais ligados principalmente à saúde, saneamento básico, produção de alimentos, habitação e transporte, esse objetivo é de fundamental relevância e as características da energia solar estão alinhadas a esse objetivo.

5.4 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO USO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Com relação aos impactos ambientais causados pelos sistemas fotovoltaicos, talvez o mais significativo seja produzido durante sua fabricação e montagem, ou seja, na construção das placas de geração e transmissão da energia. São aspectos que levam aos impactos ambientais do uso da energia fotovoltaica: as emissões de produtos decorrentes do processo de preparação da matéria-prima, principalmente a purificação do Si; as emissões ligadas à produção de energia nos processos de fabricação, transporte, instalação, operação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos; a ocupação da área para instalação dos sistemas relacionados à sua localização, às características físico climáticas do local de implantação e às características dos ecossistemas locais, e a necessidade do descarte adequado dos resíduos após os anos de utilização, ou seja, após sua vida útil. Além da necessidade do descarte adequado dos materiais, são aspectos que levam aos impactos ambientais do uso da energia fotovoltaica. (BARBOSA FILHO *et al.*, 2015; BERTICELLI *et al.*, 2017; LAGRIMANTE *et al.*, 2018; ROSA e GASPARIN, 2016)

No entanto, os impactos negativos provocados por estes sistemas são mínimos, quando comparados com os impactos positivos e as vantagens de sua implantação; além disso, a maioria destes impactos negativos possuem efeito temporário e quase não ultrapassam as fronteiras de instalação, já os impactos positivos aparecem após a fase de implantação, e consolidam-se ao longo de sua operação. (BARBOSA FILHO *et al.*, 2015; BERTICELLI *et al.*, 2017; LAGRIMANTE *et al.*, 2018)

Em relação a vida útil desses equipamentos, estima-se uma expectativa de vida de 25 a 30 anos, dependendo das condições e do regime de operação. Porém, alguns destes sistemas são descartados antes de expirar o prazo de vida útil devido aos danos durante seu transporte e instalação, além de falhas que ocorrem no início de sua operação. (MIRANDA, -; LEANDRO e SILVA, 2019)

Seja por razões econômicas, sustentáveis ou para adequação a legislações ambientais, que regulamentam o descarte de resíduos perigosos, os módulos fotovoltaicos no final de sua vida útil não podem ser considerados apenas como uma quantidade de resíduo inútil que deve ser descartada, mas sim como resíduos que apresentam características interessantes e que podem ter vários destinos, podendo ser usados de outras formas. A gestão de fim de vida útil pode ser uma oportunidade para criar e agregar valor na cadeia de produção de módulos fotovoltaicos, adotando estratégias baseadas no princípio dos 4R's (redução, reuso, reciclagem e recuperação). (MIRANDA, -; LEANDRO; e SILVA, 2019)

5.5 RESOLUÇÕES E NORMATIZAÇÕES

5.5.1 Resolução nº 482 de 2012

Em vigor desde 2012, a resolução 482 da ANEEL foi o marco regulatório no Brasil, beneficiando a sociedade e garantindo que as redes concessionárias 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 (ANEEL,2017).

De acordo com essa resolução, os microgeradores são aqueles com potência instalada menor ou igual a 100 quilowatts (kW), e os minigeradores, aqueles cujas centrais geradoras possuem de 101 kW a 1 megawatt (MW). As fontes de geração precisam ser renováveis ou com elevada eficiência energética, isto é, com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. (ANEEL,2017).

Art. 1º Estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Art. 2º Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, 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 distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

Ainda segundo a (ANEEL,2017) essa norma anseia tornar simples a conexão das pequenas centrais à rede das distribuidoras de energia elétrica e aceitar que a energia excedente produzida possa ser repassada para a rede, gerando um “crédito de energia” que será posteriormente utilizado para abater seu consumo na fatura do mês subsequente.

5.5.2 Normatização

Segundo a (ABNT, 2019), 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.

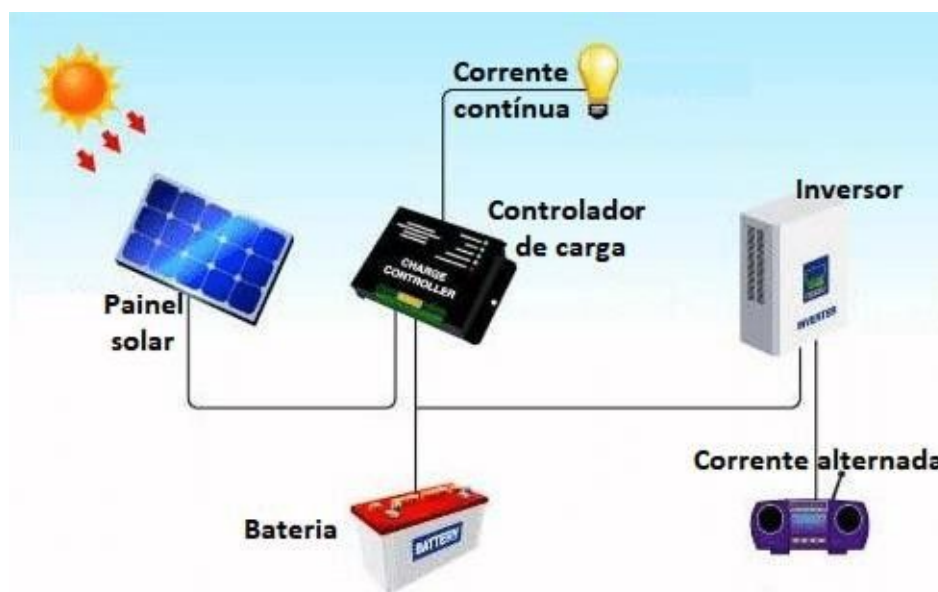
SANTOS, (2017) vai relatar que as normas têm enorme e positiva importância para a maioria dos aspectos de nossas vidas. São inúmeros os privilégios trazidos pela normalização para a sociedade, mesmo que muitas vezes ela não se dê conta disso. A exemplo pode-se mencionar que a normalização traz benefícios técnicos, econômicos e sociais nos setores da vida e do trabalho. 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. As principais normas a serem seguidos são: NBR 5410:2004, NBR 16149:2013, NBR 16150:2013 e SM04.13-00.01.

Seguir as normas é a principal escolha que um profissional faz para no mínimo garantir a segurança das instalações, aumentar o nível de qualidade da execução de serviços, diminuir o risco de acidentes e reprovações nas instalações.

5.6 COMPONENTES DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O sistema fotovoltaico utiliza o princípio fotovoltaico para geração e abastecimento elétrico de uma determinada demanda através de componentes interligados, onde cada um desempenha uma função. A produção e utilização dessa energia no cotidiano se torna cada vez mais comum, visto que é uma energia renovável, não prejudica o meio ambiente, é de fácil instalação, tem baixo custo considerando a vida útil do sistema, pouca manutenção e pode ser utilizada em áreas remotas onde não existem linhas de transmissão de energia elétrica. Alguns sistemas isolados podem funcionar em corrente contínua, sem inversor. Existe uma tipologia híbrida de instalação, que consiste num sistema conectado à rede com sistema auxiliar de baterias para backup. Nesse caso, é necessário o uso de um inversor híbrido para o correto funcionamento (MAGALDI; TOMONARI, 2018). A Figura 1 mostra os principais componentes que fazem parte de um sistema fotovoltaico.

Figura 1: Principais componentes do sistema fotovoltaico.

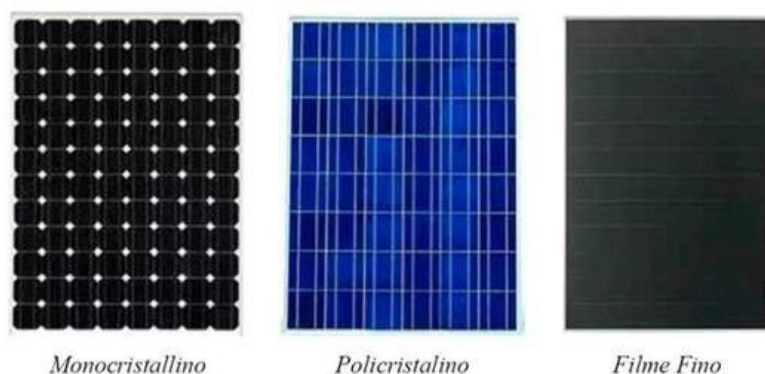


Fonte: Energia Solar Master, 2017.

5.6.1 Módulo fotovoltaico ou painel solar

Segundo (MOTTA, 2019), existem três tipos principais de módulos fotovoltaicos, os monocristalinos, policristalinos e filme fino; (Figura 2). Os módulos monocristalinos são os que possuem maior eficiência quando comparados aos demais, estando essa eficiência entre 13% a 17%, porém essa eficiência pode cair em até 10% quando expostos a temperaturas muito altas. Os módulos policristalinos são mais baratos em relação aos monocristalinos, por isso são mais comuns em instalações fotovoltaicas. A sua eficiência está entre 11% a 15%, podendo cair em até 20% sob condições de temperaturas maiores que 50°C. Os módulos de filme fino possuem uma eficiência menor que os outros dois citados, estando entre 6% a 8%, devido à composição de silício amorfo (a-Si), seleneto de cobre-índio CIS) ou telureto de cádmio (CdTe), sendo equivalente a 50% das tecnologias cristalinas.

Figura 2: Módulos fotovoltaicos monocristalinos, policristalino e filme fino, respectivamente



Fonte: Flores, 2017.

5.6.2 Inversores

Os inversores (Figura 3) são dispositivos responsáveis por transformar a corrente contínua (CC) gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA). Podem ser classificados basicamente em três tipos: inversores centrais, string e microinversores. Os inversores centrais são inversores de grande porte, com potência da ordem de centenas de kW até MW, utilizados majoritariamente em usinas fotovoltaicas. Nele são conectados vários arranjos de módulos fotovoltaicos. Os inversores string (monofásicos ou trifásicos) são os mais utilizados em instalações residenciais e comerciais, congregando um grupo de módulos em cada inversor de pequeno porte. Os microinversores são inversores individuais, projetados para serem acoplados a cada módulo fotovoltaico de uma instalação (MAGALDI; & TOMONARI, 2018).

Figura 3: Inversor da marca Fronius.



Fonte: Fronius, 2017.

5.6.3 Controladores de carga

Os reguladores de carga podem ser do tipo paralelo (*shunt*) ou série, dependendo da forma como desconectam os módulos fotovoltaicos das baterias quando estas atingem a posição de plena carga. Controladores de carga são componentes críticos em sistemas fotovoltaicos isolados, pois, caso venham a falhar, a bateria poderá sofrer danos irreversíveis, devendo ter as devidas precauções, tais como: o regulador solar não deve ser exposto a altas temperaturas nem diretamente à luz solar, a indicação do rótulo deve ser observada para uma correta voltagem CC (Corrente Contínua) e CA (Corrente Alternada). Quando um equipamento é ligado à bateria a quantidade de energia elétrica armazenada nela vai diminuindo à medida que o tempo passa. Para evitar que a bateria se descarregue por completo nos períodos longos sem insolação e de grande consumo, ou seja, tenha uma descarga profunda, é conveniente instalar um controlador de carga, dessa forma, aumentando a sua vida útil. Já em períodos de grande insolação e pequeno consumo de energia, a bateria tende a se carregar em excesso, aumentando a sua tensão e reduzindo a sua vida útil. O controlador de carga evita este excesso desconectando o módulo (LIMA, 2021). Ver Figura 4.

Figura 4: Controlador de carga modelo PWM 60A 12/24V – Epver Viewstar VS6024AU



Fonte: NeoSolar, 2022.

5.6.4 Condutores

Os condutores são responsáveis por fazer a transmissão da energia gerada no sistema fotovoltaico, e são responsáveis por transmitir energia entre os dispositivos de um sistema elétrico (MARQUES *et al.*, 2017). Já o cabo fotovoltaico deve transmitir energia entre os dispositivos do sistema fotovoltaico, além disso, nas instalações fotovoltaicas, os condutores ficam expostos ao meio ambiente e radiação solar excessiva, sendo assim os cabos devem possuir certa resistência afim de evitar a deterioração (LIMA, 2021). Conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5: Cabos condutores utilizados nos sistemas fotovoltaicos.



Fonte: AECWeb, 2022.

5.6.5 Baterias

A bateria (Figura 6) é um conjunto de células eletroquímicas, conectadas em série e/ou em paralelo, de forma que permite armazenar energia elétrica na forma de energia química, pelo processo de oxidação e redução. Quando uma bateria com energia armazenada é conectada a uma outra carga elétrica, ocorre o processo reverso, aonde uma corrente contínua é produzida pela conversão da energia química em energia elétrica (MAGALDI; & TOMONARI, 2018).

Segundo (BRANDÃO, 2017), as baterias são classificadas em duas categorias: baterias primárias e baterias secundárias. Baterias primárias são dispositivos eletroquímicos que, uma vez esgotados os reagentes que produzem a energia elétrica, são descartadas, pois não podem ser recarregadas. Já as baterias secundárias podem ser regeneradas, ou seja, através da aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais pode-se reverter as reações responsáveis pela geração de energia elétrica e, assim, recarregar novamente a bateria. Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica utilizam acumuladores secundários, isto é, baterias que podem ser recarregadas.

Figura 6: Bateria estacionária modelo Moura Solar 12M234 (220Ah).



Fonte: NeoSolar, 2022.

6. METODOLOGIA

O estudo tem por finalidade verificar a viabilidade ambiental e econômica do uso de um sistema fotovoltaico, para isso serão quantificado os módulos necessários para atender a demanda energética da Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego de Ensino Infantil e Fundamental (EMEIF) localizada no perímetro urbano da cidade de São Miguel/RN, além de identificar os melhores locais para instalação do sistema. Para isso, foi realizada a coleta de dados como localização, latitude e longitude, utilizando o *software Google Earth*, bem como visita em loco. Ainda utilizando o *software Google Earth*, foram verificadas as dimensões aproximadas, posição e tipo de cobertura da escola, possibilitando a elaboração de croquis da cobertura com a utilização do *AutoCad*.

Os dados da irradiação solar foram coletados a partir da plataforma CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito) para avaliar o potencial energético do local de instalação. Os parâmetros de orientação e inclinação dos módulos foram escolhidos sabendo-se que com os módulos voltados para o Norte geográfico e com a inclinação próxima à latitude do local analisado, é obtido o maior aproveitamento solar (MELO, 2014).

Para a fase de dimensionamento, foi coletado os dados de consumo de energia elétrica através de uma fatura cedida pela empresa JPL para avaliar a potência que seria necessária para suprir o consumo do prédio, para isso, será utilizado uma conta de energia elétrica de abril de 2021 a abril de 2022. Também iremos utilizar uma estimativa da área do telhado para os cálculos futuro.

Para auxiliar na realização dos cálculos desse trabalho, foram utilizados alguns *softwares* que permitiram expressar os resultados com mais exatidão. Entre eles, foram destacados os *softwares Excel 2016*, e *AutoCAD 2020*. Outros *softwares* citados anteriormente também serão utilizados, tais como *Google Earth*, e a plataforma CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito).

Será feito um estudo bibliográfico, pesquisas e revisões na literatura para a fundamentação teórica do trabalho, bem como o uso de fotografias feitas em loco.

Ao término desse estudo será elaborado um relatório e apresentado ao poder público municipal visando a implementação do sistema.

6.1 O Município de São M – RN

São Miguel é um município brasileiro no interior do estado do Rio Grande do Norte na Região Nordeste do país. Localiza-se na região do Alto Oeste, na mesorregião do Oeste Potiguar e microrregião da Serra de São Miguel, sendo então o vigésimo quinto mais populoso do estado e primeiro de sua microrregião. Sua história começa no século XVIII, quando ocorreu a chegada de Manoel José de Carvalho, de Icó, no Ceará, à zona serrana do Rio Grande do Norte, dando origem ao povoado em torno de uma lagoa, em 29 de setembro de 1750, no dia de São Miguel Arcanjo, atual padroeiro micalense. (IBGE, 2019).

Distante 431 km da capital Natal, São Miguel ocupa uma área de 166,233 km² (0,3148% da superfície estadual), dos quais 5,215 km² constituem a área urbana. Limita-se a norte com Doutor Severiano, a sul com Venha-Ver, à leste com Coronel João Pessoa e Encanto e a oeste com Pereiro e Icó, ambos no Ceará. Conforme a divisão territorial vigente desde 2017, São Miguel pertence à região geográfica imediata de Pau dos Ferros, dentro da região geográfica intermediária de Mossoró, até então, com a vigência das divisões em mesorregiões e microrregiões, fazia parte da microrregião da Serra de São Miguel, que por sua vez estava incluída na mesorregião do Oeste Potiguar. O município está incluído na área do semiárido brasileiro definida pelo Ministério da Integração Nacional em 2005, cuja delimitação levou em conta o índice pluviométrico e o risco de seca. Levando-se em conta apenas a precipitação, o clima é tropical chuvoso, com chuvas concentradas no primeiro semestre (IBGE, 2019).

Segundo o LABREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (2021), São Miguel/RN apresenta uma média total diária de irradiação PAR de 2463 Wh/m².dia, 5893 Wh/m².dia de irradiação no plano inclinado, e 2066 Wh/m².dia de irradiação difusa, apresentando-se como uma boa localização para captação de energia solar. Atualmente São Miguel/RN conta com duas empresas prestadoras de serviços de projetos e instalações de sistemas de placas fotovoltaicas, são elas: JPL Engenharia e a EVOCORP.

6.2 Localização da escola

A Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego de Ensino Infantil e Fundamental (EMEIF) está situada na zona urbana da cidade de São Miguel/RN, na Rua Deputado Hesíquio Fernandes, 591 no bairro Manoel Vieira. Fundada em 1979, a escola conta com uma infraestrutura de 13 salas de aula, secretaria, diretoria, parque infantil, cozinha, banheiros, dispensa, aldtório e almoxarifado, a escola é agraciada de energia elétrica, água potável e internet banda larga, além de diversos outros equipamentos as quais compõem a estrutura da escola. A instituição conta com cerca de 58 funcionários e atende às modalidades educação infantil – creche e pré-escola nos turnos manhã e tarde, contendo cerca de 529 alunos. As Figuras 7,8 e 9 mostram a Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego, bem como sua localização, respectivamente.

Figuras 7 e 8: Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego.



Fonte: Autor, 2022.

Figuras 9: Localização da Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego.



Fonte: Google Earth, 2018.

6.3 Coleta de dados

Para realização do dimensionamento do sistema fotovoltaico, foi escolhida a Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego. Em seguida, foi realizada a coleta de dados como localização, latitude e longitude, utilizando o *software Google Earth*. Os dados da irradiação solar foram coletados a partir da plataforma CRESESB para avaliar o potencial energético do local de instalação. Os parâmetros de orientação e inclinação dos módulos foram escolhidos sabendo-se que com os módulos voltados para o Norte geográfico e com a inclinação próxima à latitude do local analisado, é obtido o maior aproveitamento solar (MOTTA, 2019). Também foram coletados os dados de consumo de energia elétrica para avaliar a potência que seria necessária para suprir o consumo da escola, nesse caso, foi utilizado uma fatura de energia da escola.

6.4 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para o dimensionamento do projeto, foi escolhido o sistema fotovoltaico conectado à rede, pois nesse tipo projeto, o valor máximo da fatura de energia é abatido. A metodologia utilizada foi baseada nas metodologias de dimensionamento da empresa Fotaic, localizada no município de Fortaleza, a metodologia dessa empresa está disponível em sua página na internet, e da empresa JPL Engenharia localizada em São Miguel. Por serem empresas já consolidadas no mercado, optou-se por elaborar a metodologia com base no trabalho dessas empresas. Para o início do nosso dimensionamento, vamos demonstrar o conceito de energia, que é o produto da potência pelo tempo, conforme equação 1.

$$\text{Energia} = \text{Potência} \times \text{Tempo} \quad (1)$$

6.4.1 Módulos fotovoltaicos

Manipulando a equação (1), encontra-se a quantidade ideal de painéis fotovoltaicos, mas primeiramente, é preciso achar a demanda energética do local. Como o local de instalação do sistema solar fotovoltaico deste projeto já está construído e funcionando há alguns anos, de posse de uma fatura de energia, deve-se obter a média mensal do ano de consumo de energia elétrica, que no caso é da data de abril de 2021 até abril de 2022.

Através dessa média mensal do consumo de energia elétrica, é possível iniciar o cálculo de quanto de energia será preciso produzir para satisfazer a demanda. Vale ressaltar que no sistema conectado à rede (On Grid), há um consumo mínimo da energia da rede,

imposto pela distribuidora de acordo com o tipo de classe da unidade consumidora, se é monofásico, bifásico ou trifásico. Apesar do local de estudo apresentar um sistema trifásico, o consumo mínimo é de 50kWh, diferente do valor mínimo geralmente de 100kWh encontrado em unidades consumidoras residenciais. Isso ocorre porque a unidade consumidora estudada precisa de um fornecimento em alta tensão para suprir a demanda. Logo foi necessário alterar alguns dados contratuais, existentes com a distribuidora, com a demanda mínima passando a ser a potência de 50 kWh. Portanto, para fazer a conta de quanto os painéis solares precisarão produzir, pode-se abater esses 50kWh do consumo médio mensal, ou seja, $M_{\text{mensal}} - 50 = Y$. Y é o quanto de energia que precisará ser produzida.

Fazendo a manipulação da Equação 1, vamos ter:

$$\text{Energia}_{\text{geração}} = \text{Potência Total}_{\text{painéis}} \times \text{Tempo}_{\text{exposição}} \quad (2)$$

Onde:

Energia geração = é a energia do sistema gerado diariamente;

Potência Totalpainéis = é a potência total que os painéis juntos devem ter para suprir a demanda;

Tempo exposição = o tempo que os painéis ficarão expostos à energia solar.

Com o resultado Y encontrado, dividimos esse valor por 30 dias, que nos dará o consumo diário, o próximo passo é saber a potência total necessária dos painéis para suprir a demanda calculada. Em seguida, vamos isolar a variável Potência Totalpainéis da equação (2), e adicionar a variável η rendimento ao denominador, representando as perdas de cargas e eficiência dos equipamentos, o que acontece na prática. Logo, vamos ter a seguinte equação (3):

$$\text{Potência Total}_{\text{painéis}} = \frac{\text{Energia}_{\text{geração}}}{\text{Tempo}_{\text{exposição}} \times \eta_{\text{rendimento}}} \quad (3)$$

Por fim, deve-se encontrar as seguintes variáveis, o tempo de exposição, também chamado de Horas de Sol Pico ou Horas de Sol Pleno (HSP), que é encontrado com o valor de irradiação solar médio mensal na plataforma da CRESESB. Esta grandeza mostra o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m², de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dia. Assim, adota-se a equação 4 para encontrar o HSP:

$$\text{HSP} = \frac{\text{Irradiância solar média mensal} \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}}{1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} \quad (4)$$

No cálculo do η (rendimento) do sistema, vamos considerar os fatores que irão fazer com que o sistema fotovoltaico perca eficiência e consequentemente, perca produção de energia. Esses fatores a ser considerados são: perdas por temperatura, acúmulo de sujeira e sombreamento, cabeamento de corrente contínua e alternada, e perdas no inversor.

Com os valores da Energiageração, HSP e η rendimento calculados, já é possível calcular a potência total necessária dos painéis para suprir a demanda energética. Com o resultado da potência total necessária, o próximo passo será calcular a quantidade de painéis que irão compor o sistema fotovoltaico. Com isso, devemos saber a potência individual de cada painel fotovoltaico. Essa potência individual de cada painel é feita através da escolha do modelo dos painéis oferecidos pelas empresas que fazem instalações de sistemas fotovoltaicos. Esses modelos são apresentados em sites especializados na venda desse produto ou em lojas física. Feita a escolha do painel ideal e com os valores da potência total necessária (Potência Total painéis) e da potência individual de cada painel fotovoltaico (P_{painel}), já é possível calcular a quantidade de painéis para o sistema fotovoltaico através da equação 5.

$$Qtd_{\text{painéis}} = \frac{\text{Potência Total painéis}}{P_{\text{painel}}} \quad (5)$$

6.4.2 Escolha do inversor

Na escolha dos inversores, é escolhido um ou mais de acordo com o projeto, e de forma que a potência de entrada do(s) inversor(es) sejam capazes de suportar até 15% a menos da potência instalada dos módulos as quais vão ficar conectados. Isso ocorre porque os módulos nunca vão conseguir produzir sua capacidade total devido à diversos fatores e devido ao MPPT (maximum power point tracking - rastreamento do ponto de máxima potência), se houver entrada de potência acima de seu limite, é automaticamente ajustado para não prejudicar o equipamento. É ideal escolher um inversor que apresente uma boa tecnologia, que possua bons componentes de segurança e potencializadores como o MPPT e garantia fornecida pela empresa, normalmente de 5 a 10 anos. De acordo com a equação 6, pode-se obter a potência máxima do inversor.

$$P_{\text{inv}} = \text{Potência total módulos} \times 0,85 \quad (6)$$

Onde:

P_{inv} = Potência máxima do inversor (W);

Potência total módulos a Potência total a ser gerada pelos módulos (W).

6.4.3 Número máximo de módulo conectado ao inversor

Como citado, os módulos não conseguem alcançar sua potência nominal máxima, portanto, é necessário que a potência real de produção das placas seja 15% a menos que a potência nominal máxima. Logo, utilizaremos para os módulos a equação 7:

$$P_{real} = P_{painel} \times 0,85 \quad (7)$$

Assim, o número máximo de módulos (equação 8) que podem ser conectados em um inversor é:

$$N_{max} = \frac{P_{ind,inv}}{P_{real}} \quad (8)$$

Onde:

P_{inv} = Potência de cada invrsor individual.

6.4.4 Quantidade de strings em paralelo conectados ao inversor

Para encontrar a quantidade de strings que poderão ser ligados em paralelo ao inversor, deve-se ter a máxima corrente de entrada ($I_{dc\ max}$) do inversor, de modo que a soma das correntes das strings, que estão conectados em paralelo, não ultrapasse o $I_{dc\ max}$. Para encontrar a corrente de cada string, é só obter a corrente operacional de cada módulo individual (I_{mp}), pois assim como na string, as placas estão ligadas em série, a corrente se mantém igual. A equação 9 vai nos fornecer esse resultado.

$$Qnt_{strings} = \frac{I_{dc\ max}}{I_{mp}} \quad (9)$$

Onde:

$Qnt_{strings}$ = Quantidade de strings que podem ser conectados em paralelo ao inversor;

$I_{dc\ max}$ = Corrente máxima de entrada do inversor (A);

I_{mp} = Corrente operacional de um módulo (A).

6.4.5 Área de instalação

Com a quantidade de módulos encontrado e tendo escolhido o tipo de módulo, pode-se calcular a área total aproximada de instalação pela equação 10, pois aqui não é levado em conta os espaçamentos mínimos entre os módulos e as estruturas de suporte:

$$Áreatotal = Qtdmódulos \times Dimensões\ do\ módulo\ (m \times m) \quad (10)$$

Onde:

Qtdmódulos = Quantidade total de módulos do projeto;

Dimensões do módulo = As dimensões do módulo escolhido em m² (altura x largura).

6.5 Viabilidade econômica

A viabilidade econômica foi feita em cima da fatura de energia da unidade consumidora, da potência de geração do sistema fotovoltaico dimensionado neste projeto e dos custos envolvidos para implantar o sistema. Vale ressaltar que a fatura da unidade consumidora deste projeto possui uma classificação específica, portanto apresenta tarifas e taxas diferentes.

6.5.1 Custo mensal da fatura de energia sem o SFV.

Será feita uma análise da situação atual da fatura da unidade consumidora foco deste projeto, comparando valores e impostos incidentes sobre a mesma.

6.5.2 Custo mensal da fatura de energia com o SFV.

Será feita uma projeção da futura fatura de energia da unidade consumidora com o abatimento de energia gerada pelo sistema fotovoltaico.

6.5.3 Custo economizado com a geração FV.

Para saber o custo que será economizado ao longo de um ano com a implantação do SFV, deve-se usar a geração diária de potência, multiplicando pelo preço pago do kWh e quantidade de dias do ano em que o sistema estará funcionando, ou seja, o ano todo. A equação 11 mostra o valor total da economia em um ano.

$$\text{Custo}_{\text{economizado}} = \text{Preço}_{\text{kWh}} \times \text{Geração}_{\text{diária}} \times 365 \quad (11)$$

6.5.4 Orçamento do projeto.

O orçamento do projeto vai envolver todos os custos financeiros do projeto, desde os custos dos componentes até a mão-de-obra de instalação, conforme levantamentos feitos em sites especializados.

6.5.5 Tempo de retorno (Payback)

O tempo de retorno ou *payback* é o tempo que demora para que o investimento total do projeto seja abatido, conforme a economia gerada ao longo dos anos. Portanto, será dividido o investimento total (Invtotal) pelo custo economizado ao longo dos anos com o aumento estimado da tarifa. O aumento da tarifa será estimado em 10% por ano, ao longo de 5 anos para se obter uma média de custo economizado, já que este é diretamente proporcional ao preço do kWh. De acordo com a equação 12, temos:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Invtotal}}{\text{Custo economizado}} \quad (12)$$

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado a rede

De início precisamos saber a potência total que os painéis precisam ter para atender à demanda da escola (equação 3), mas antes disso, vamos conhecer a Energia de geração, o Tempo de exposição e o rendimento. A Energia de geração foi obtida através da média mensal de consumo de energia retirada de uma fatura da escola no período de abril de 2021 a abril de 2022, conforme a Tabela 1. Essa média será o somatório do consumo de energia em kwh, dividido por treze, que é o total de meses levados em consideração na análise. Como esse fornecimento é do tipo trifásico, e a demanda mínima contratada é de 50kwh, de acordo com a resolução nº482/2012, devemos subtrair esse valor da média mensal encontrada, conforme será mostrado o cálculo a seguir.

Tabela 1: Consumo mensal no período de abril de 2021 a abril de 2022.

ANO	MÊS	CONSUMO (KWH)
2021	Abril	238
2021	Maio	191
2021	Junho	234
2021	Julho	306
2021	Agosto	380
2021	Setembro	446
2021	Outubro	419
2021	Novembro	564
2021	Dezembro	627
2022	Janeiro	278
2022	Fevereiro	327
2022	Março	533
2022	Abril	842

Fonte: Autor (2022).

$$\text{Média}_{\text{mensal}} = 238+191+234+306+380+446+419+564+627+278+327+533+842/13 = 414,23\text{kwh}$$

$$\text{Energia}_{\text{geração}} = \text{Média}_{\text{mensal}} - 50 \text{ kwh}$$

$$\text{Energia}_{\text{geração}} = 414,23 \text{ kwh} - 50 \text{ kwh} = 364,23 \text{ kwh}$$

A Energia de geração é uma média diária, logo teremos:

$$\text{Energia}_{\text{geração}} = 364,23 \text{ kwh} / 30 \text{ dias} = 12,14 \text{ kwh} (2)$$

O próximo passo será encontrar o tempo de exposição que os painéis ficam expostos. O valor desse tempo é encontrado no site da CRESEB –Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. Foi considerado a média da irradiação solar diária mensal, no ângulo igual a latitude do local, ou seja, 6°N. As Figuras 10 e 11 mostram o valor da irradiação solar e o gráfico da irradiação no plano inclinado, respectivamente.

Figura 10: Valor da irradiação solar no ângulo igual a latitude.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Sao Miguel
Município: Sao Miguel , RN - BRASIL
Latitude: 6,201° S
Longitude: 38,449° O
Distância do ponto de ref. (6,211708° S; 38,496942° O) :5,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☐	Plano Horizontal	0° N	5,87	5,87	5,83	5,55	5,17	5,03	5,37	6,10	6,47	6,57	6,67	6,10	5,88	1,63
☒	Ângulo igual a latitude	6° N	5,65	5,75	5,83	5,68	5,39	5,31	5,64	6,31	6,53	6,47	6,43	5,84	5,90	1,22
☐	Maior média anual	5° N	5,69	5,77	5,83	5,66	5,36	5,27	5,60	6,28	6,53	6,49	6,47	5,89	5,90	1,26
☐	Maior mínimo mensal	10° N	5,49	5,64	5,80	5,74	5,52	5,47	5,80	6,42	6,54	6,37	6,25	5,65	5,89	1,07

Fonte: CRESEB (2022).

Figura 11: Gráfico da irradiação solar no plano inclinado.



Fonte: CRESEB (2022).

O valor do tempo de exposição encontrado foi de, HSP = 5,90 kwh/m² . dia. A literatura diz que no ângulo igual a latitude, tem-se o maior aproveitamento da eficiência dos módulos fotovoltaicos. Agora precisamos encontrar o rendimento dos painéis fotovoltaicos, para isso, vamos considerar os seguintes fatores de perdas: temperatura, conversão CC-CA, sujeira e sombreamento, e o cabeamento. A Tabela 2 mostra as respectivas porcentagens de perdas.

Tabela 2: Porcentagem de cada fator de perda.

FATORES DE PERDAS DE ENERGIA	PERDAS (%)
Temperatura	100% - 11% = 89%
Conversão CC-CA	100% - 2% = 98%
Sujeira e sombreamento	100% - 6% = 94%
Cabeamento	100% - 2% = 98%

Fonte: Autor (2022).

Calculando o rendimento global, vamos ter que:

$$\eta_{\text{rendimento}} = 0,89 \times 0,98 \times 0,94 \times 0,98 = 0,803$$

Logo, o rendimento global será, 0,803 ou 80,3%

Agora podemos calcular a potência total necessária dos painéis.

$$\text{Potência Total}_{\text{painéis}} = \frac{12,14 \text{ Kwh}}{5,90 \text{ h} \times 0,803} = 2,57 \text{ kWp (3)}$$

Logo, esse será o valor da potência máxima que os módulos fotovoltaicos vão fornecer para o inversor. O próximo passo é calcular a quantidade de painéis necessários no sistema.

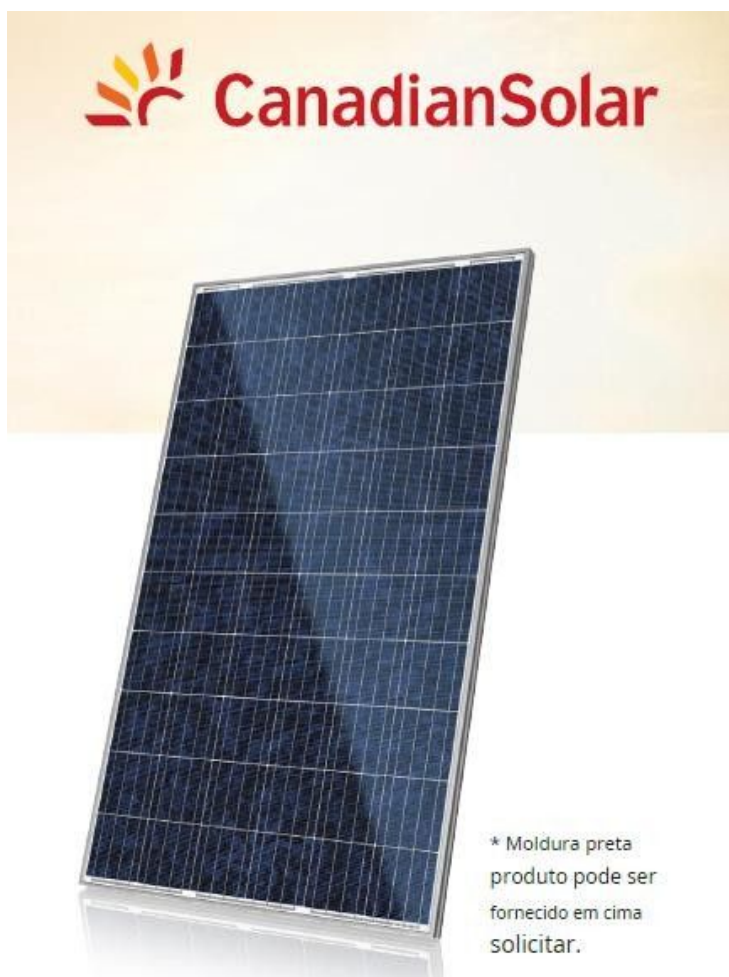
O painel fotovoltaico escolhido para esse dimensionamento foi o da marca Canadian Solar modelo QUARTECH CS6P-260/265/270P (Figura 12), suas especificações se encontram na Tabela 3 e também no datasheet em anexo.

Tabela 3 – Especificações elétricas e mecânica do painel fotovoltaico.

QUARTECH CS6P-260/265/270P	Dados
Potência nominal máxima. (P _{máx.})	270W
Tensão operacional opt. (V _{mp})	30,8V
Corrente operacional opt. (I _{mp})	8,75A
Temperatura operacional	-40°C ~ +85°C
Tipo de célula	Policristalino
Dimensões	1638 x 982 x 40 mm

Fonte: Autor (2022).

Figuras 12: Paine solar QUARTECH CS6P-260/265/270P.



Fonte: Canadian Solar, 2022.

Esse modelo de painel solar tem uma potência máxima de 270W. Logo, tem-se que:

$$Qtd_{\text{painéis}} = \frac{2,57kWp}{270W} = 10 \text{ painéis (5)}$$

Recalculando a potência total dos painéis, vamos ter:

$$Potência \text{ Total}_{\text{placas}} = 10 \times 270 = 2,7 \text{ kwp}$$

7.2 Escolha do inversor

Usando a equação (6) pode-se calcular a potência necessária que o(s) inversores vão precisar ter para que supra a potência dos módulos.

$$P_{inv} = 2,7 \times 0,85 = 2,29 \text{ kW (6)}$$

O inversor escolhido foi o da marca Fronius Primo 3.6-1 (Figura 13), que apresenta um bom desempenho, melhor custo, garantia e credibilidade.

Figuras 13: Inversor Fronius Primo 3.6-1.



Fonte: Fronius, 2022.

Tabela 4 – Dados técnicos do inversor.

Fronius Primo 3.6-1	Dados
Max. Corrente de entrada	12,0A
Máx. Tensão de entrada	1000V
Potência nominal máxima	710V
Dimensões	645 x 431 x 204 mm

Fonte: Autor (2022).

Agora, calcula-se a quantidade necessária de inversores, logo, será:

$$N_{inv.} = \frac{2,29 \text{ kw}}{3,6 \text{ kw}} = 0,6 \text{ inversores}$$

Logo, será utilizado 1 inversor com potência de 3.6 kw

7.3 Número máximo de módulo conectado ao inversor

Utilizando a equação (8), vamos ter o número máximo de módulos conectados a cada inversor.

$$P_{real} = 270 \times 0,85 = 229,5 \text{ (7)}$$

$$N_{max.} = \frac{3600W}{229,5W} = 15,6 \text{ módulos (8)}$$

Ou seja, um inversor de 3,6kw pode suportar até 16 módulos conectados a ele.

7.4 Quantidade de strings em paralelo conectados ao inversor

Através dos valores indicados no datasheet do módulo e do inversor, podemos calcular a quantidade de strings que poderá ser conectado em paralelo no inversor, (equação 9).

$$Q_{nt_{strings}} = \frac{12,0}{8,75} = 1,37 \text{ (9)}$$

Logo, podem ser conectados até 2 strings em paralelo em cada inversor sem que prejudique o funcionamento e integridade do sistema.

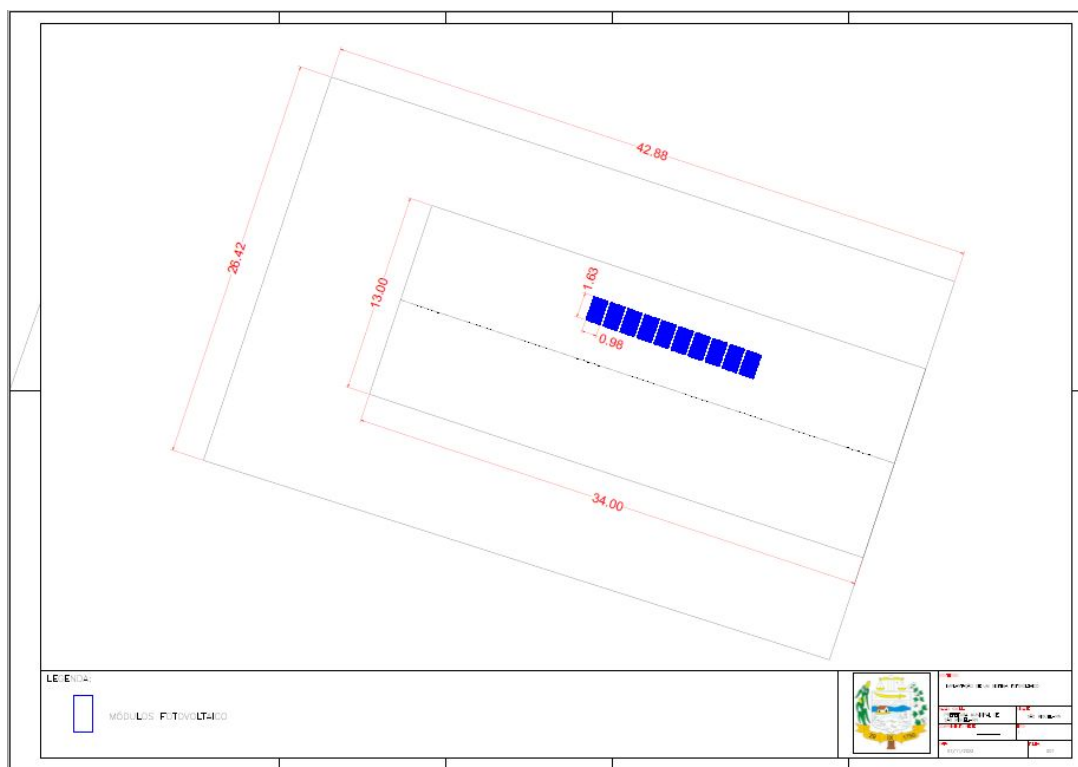
7.5 Área de instalação

Com o número de módulos calculados e já tendo escolhido o tipo de módulo que será implantado no projeto, podemos calcular a área total necessária para a instalação, de acordo com a equação (10)

$$Área_{total} = 10 \times (1,638 \times 0,982) = 16,08 \text{ m}^2 \text{ (10)}$$

A área do telhado escolhido para implantação do sistema possui uma área de aproximadamente 442m². Com isso, é possível instalar todos os módulos e modo que fiquem todos acomodados sobre o telhado do local escolhido, mais precisamente na parte metálica, pois, a mesma apresenta uma segurança para a instalação dos equipamentos (figura 14).

Figura 14 – Croqui da disposição dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: Autor (2022).

7.6 Viabilidade econômica

Classificação da unidade consumidora

A classe e subclasse da unidade consumidora é:

- Poder público;
- Municipal – Estabelecimento de ensino.

Tipo de ligação:

- Monômnia – trifásico.

Grupo de tensão:

- B3

Tipo de tarifa:

- Horo-sazonal branca.

7.7 Custo mensal da fatura de energia sem o SFV.

De acordo com a fatura emitida dos últimos 13 meses, podem ser observadas descritivamente quais cobranças são feitas e os custos faturados, de acordo com a Figura 15.

Figura 15 - Fatura de energia da Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego de Ensino Infantil e Fundamental (abril/2022)

NEOENERGIA COSERN

DADOS DO CLIENTE
 PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO
 RUA BERNARDO DE SIQUEIRA, 100 - JARDIM SÃO JOSÉ
 CEP: 13.200-000
 INSCRIÇÃO ESTADUAL: 000.000.000-00

DATA DE VENCIMENTO
 20/05/2022

TOTAL A PAGAR (R\$)
 727,19

CONTA CONTRATO
 0461191010

DESCRIÇÃO DA NOTA FISCAL

Descrição	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Consumo Ativo - TUSD	842,0000000	0,39613922	333,54
Consumo Ativo - TE	842,0000000	0,31049023	261,43
Acréscimo Bandeira Amarela			132,22

TOTAL DA FATURA
 727,19

INFORMAÇÕES DE TRIBUTOS

ICMS	PIS	COTAX
10,00%	0,00%	0,00%

RESUMO DO CONSUMO DESTA NOTA FISCAL

Período	Consumo (kWh)
01/04/2022 - 30/04/2022	842,00

Fonte: Autor (2022).

A unidade consumidora se enquadra na classe horo- sazonal branca. A Tabela 5 apresenta os custos significativos da fatura:

Tabela 5 – Custos da energia consumida.

Posto tarifário	Consumo médio mensal (kwh)	Tarifa com tributos por unidade (R\$)	Custo (R\$)
Consumo ativo - TUSD	842,0000000	0,39613922	333,54
Consumo ativo - TE	842,0000000	0,31049023	261,43

Fonte: Autor (2022).

A Tabela 6, apresenta os custos que não podem ser eliminados, pois são inclusos na fatura de acordo com o tipo do contrato da concessionária de energia e a escola municipal, no caso, seria com a prefeitura.

Tabela 6 – Outros custos.

Descrição	Custo (R\$)
Acréscimo Bandeira Amarela	132,22

Fonte: Autor (2022).

Logo, o valor final da fatura no mês, é de R\$594,97 + R\$261,43, totalizando R\$727,19. Outros valores não foram contabilizados, como a multa, pois são valores irregulares de uma fatura. O consumo ativo TE, refere-se a Tarifa de Energia – que é o valor da energia consumida mensalmente em R\$/kWh. Já o consumo ativo TUSD, é referente a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição - que é o valor em R\$/kWh referente ao uso do sistema de distribuição de energia elétrica.

7.8 Custo economizado sem a geração FV.

No caso em estudo, não foi possível ter acesso ao contrato da concessionária de energia com a escola, no caso, o contrato da prefeitura com a concessionária, mas de acordo com a literatura encontrada, não é possível zerar faturas de energia, pois geralmente a concessionária exige uma tarifa mínima da demanda contratada. Nesse caso, pode-se fazer uma projeção de valores das próximas faturas com o sistema fotovoltaico em funcionamento. Como o sistema irá suprir a demanda, provavelmente a taxa de bandeira tarifária, será abatida, fazendo com que haja uma redução nas futuras faturas.

Como na fatura não foi informado a cobrança de taxa de iluminação pública, e outras taxas afins, fica então interpretado que a redução seria somente na cobrança da taxa de bandeira tarifária, com tudo, existe outra forma de ter abatimento na conta, como a unidade consumidora não necessitará de grande quantidade de energia disponibilizado pela concessionária, pode-se então alterar o contrato entre as partes, tornando a fatura semelhante a residencial, de modo que não haja cobrança por ‘demanda contratada’.

7.9 Custo economizado com a geração FV.

Considerando a geração ao longo de um ano e em pleno funcionamento do sistema, podemos calcular o custo economizado em um ano, de acordo com a equação 11.

$$\text{Custo}_{\text{economizado}} = 0,55 \times 12,14 \times 365 = 2.437,10/\text{ano} \quad (11)$$

8.0 Orçamento do projeto

Através de pesquisas em diversas lojas online, foi levantado os custos dos componentes necessários para implantação do sistema fotovoltaico, que estão elencados na Tabela 7.

Tabela 7 – Orçamento do sistema dimensionado.

Descrição	Quantidade	Custo por unidade (R\$)	Custo total (R\$)
Módulo Canadian Solar Quartech CS6P-260/265/270P ⁽¹⁾	10	709,50 ⁽¹⁾	7.095,00
Inversor Fronius Primo 3.6-1 ⁽²⁾	1	5.908,03 ⁽²⁾	5.908,03
Mão-de-obra*	-	2.210,51	2.210,51
Outros	-	-	5.000,00
Total	-	-	20.213,54

Fonte: Autor (2022).

O custo descrito como outros engloba alguns materiais como a estrutura de suporte/fixação das placas, cabos condutores e disjuntores.

⁽¹⁾ Valor cotado no site: <https://www.alxenergiaalternativa.com.br/product/painel-fotovoltaico-monocristalino-alx-sm-270w/>

⁽²⁾ Valor cotado no site: <https://www.mg-solar-shop.com/fronius-primo-3.6-1-light-solar-inverter>

* A mão-de-obra é calculada em torno de 15 a 20% do valor total dos módulos e inversores, portanto usou-se 17%

8.1 Tempo de retorno (Payback)

Realizado o orçamento, é necessário projetar o aumento da tarifa de 10% sobre o custo economizado, de acordo com a tabela 8.

Tabela 8 – Custo economizado ao longo dos anos.

Ano	Custo economizado
2022	2.437,10
2023	2.680,81
2024	2.948,89
2025	3.243,78
2026	3.568,16
Média	2.975,75

Fonte: Autor (2022).

Fazendo o cálculo do Payback, vamos ter que:

$$\text{Payback} = \frac{20.213,54}{2.975,75} = 7,0 \text{ anos (12)}$$

Após o período de 7 anos, o investimento terá sido abatido e ao longo dos próximos anos, a geração do sistema irá prover lucro. Vale ressaltar que este sistema fotovoltaico, de acordo com a marca e tipo dos equipamentos escolhidos, tem uma vida útil de cerca de 30 anos já que os fabricantes fornecem uma garantia de 25 anos da potência linear dos módulos e de 10 até 20 anos para os inversores. Logo, essa instalação terá uma viabilidade econômica após o período de retorno de 7 anos.

CONCLUSÃO

Os estudos feitos sobre a incidência de radiação solar no Nordeste e no município de São Miguel-RN, mostraram que essas regiões são muito propícias para produzirem energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos. De acordo com o atlas de energia solar elaborado pelo INPE - (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a ferramenta sundata – (que é um programa destinado ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional), São Miguel-RN apresenta uma taxa de incidência de radiação solar com cerca de 5,90 kwh/m².

O crescimento deste setor se deve ao significativo desenvolvimento de tecnologias que tornam os componentes como os módulos fotovoltaicos e inversores solares mais duradouros e eficientes, o que torna a implantação de um sistema fotovoltaico mais viável economicamente.

Com uma potência de geração diária de 2,57 kWh, o sistema é capaz de suprir cerca de 90% da demanda energética Escola Municipal Carlos Alberto Dias do Rego de Ensino Infantil e Fundamental (EMEIF) e um custo economizado ao ano de R\$1.373,64. O tempo de retorno do investimento é de cerca de 12 anos, demonstrando que a implantação deste sistema é muito viável economicamente e operacionalmente, pois a vida útil deste sistema chega em torno de 30 anos, com uma baixa necessidade de manutenção.

Por fim, ressalta-se que com o uso dos sistemas fotovoltaico, vem se tornando uma ótima alternativa tanto para economizar financeiramente, quanto para um desenvolvimento sustentável.

1. REFERÊNCIAS

- 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 2022.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília:ANEEL, 2013. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/NT_180TA2_404.pdf. Acesso em: 01/07/2022.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL**, 24 de maio de 2017 de Abril de 2012. 5p.
- AYOADE, J. O. Introduction to climatology for the tropics. Chichester: John Wiley & Sons, 1983.
- BARBOSA FILHO, Wilson Pereira; FERREIRA, Wemerson Rocha; AZEVEDO, Abílio César Soares de; COSTA, Antonella Lombardi; PINHEIRO, Ricardo Brant. Expansão da energia solar fotovoltaica no brasil: impactos ambientais e políticas públicas. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, n. esp, p. 628-642, 2015.
- BARROS, Hugo Albuquerque. **Anteprojeto de um sistema de 12 kw p conectado à rede**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2011.
- BERTICELLI, Ritieli; LAUXEN, Ricardo; BINATO, Alexandre; MASUTTI, Gustavo Corbellini; RODRIGUES, Luis Kaufmann. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. **I Seminário de Pesquisa Científica e Tecnológica**, v. 1, n. 1, p. 01-09, 2017.
- BRANDÃO, Danilo Iglesias. Sistema de geração fotovoltaico multifuncional. 2017
- BRASIL, 2020. Ministério de Minas e Energia. Plano nacional de eficiência energética, premissas e diretrizes básicas, Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br>. Acesso em: 01/07/2022.
- 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.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Balanco Energético Nacional 2020 - Relatório Síntese / Ano Base 2019**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 29 julho 2022.
- HARTMANN, D. L. Global physical climatology. Seattle: Academic Press, 1994. JARDIM, C. da S.; SALAMONI, I.; RÜTHER, R.; KNOB, P.; DINIZ, A.S.C. **O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Interligados a Rede Elétrica em Áreas Urbanas: Dois Estudos de Caso**. Belo Horizonte, 2004. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC00000000220040002000_29&script=sci_arttext. Acesso em: 01/07/2022.
- LAGRIMANTE, Danilo; LANDIM, Leonardo Paz; CRUZ, Victor; AMARANTE, Mayara. Estudo da aplicação de energia fotovoltaica. **Pesquisa e Ação**, v. 4, n. 1, p. 162-170, 2018.
- MAYCOCK, P. D. Photovoltaics: Sunlight to Electricity in One Step. Andover: Brick House. 222 p. 1981.

MELO, F. C. Projeto e análise de desempenho de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de baixa tensão em conformidade com a resolução 482 da aneel. Universidade Federal de Uberlândia, 2014. Citado 8 vezes nas páginas 13, 14, 15, 20, 21, 25, 38 e 40.

MIRANDA, Rosana Teixeira; LEANDRO, Francielle da Silva; SILVA, Tatiane Caetano. Gestão do fim de vida de módulos fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.8, n.1, p. 364-383, 2019.

NASCIMENTO, R. L. Energia solar no brasil: Situação e perspectivas. Consultoria Legislativa, 2017. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia_solar_limp.pdf?sequence=1>. Acesso em: 05/07/2022.

NASCIMENTO, L. N.B. Uma abordagem sobre energia solar por meio da aprendizagem baseada em projetos. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. 2019.

PENG, J., LU, L., & YANG, H. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems . *Renewable and Sustainable Energy Review*, p. 20. 1 Dez 2012.

ROSA, Antônio Robson Oliveira da; GASPARIN, Fabiano Perin. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016.

SANTOS, J. A **Importância da Normalização**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SOARES, Débora Oliveira, SANTOS, Marília Gabriela Cruz dos. **Possíveis benefícios da utilização do sistema de energia solar fotovoltaica para a sustentabilidade ambiental**. Anais do Fórum Regional de Administração 2020. Disponível em: https://www.unirios.edu.br/eventos/forumadm/anais/arquivos/2020/possiveis_beneficios_da_utilizacao_do_sistema_de_energia_solar.pdf. Acesso em: 01/08/2022.

SILVA, Nathan Heleno Gomes Soares da. **Desenvolvimento de projeto para aproveitamento de energia solar numa escola pública de Brasília**. UniCEUB. Brasília, 2017.

SIQUEIRA, Vera L. Desenvolvimento de uma experiência investigativa com célula fotovoltaica para o ensino de ciências. 2020. 46 f. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020.

TREBLE, F.C. Generating electricity from the sun. Oxford : Pergamon. 293 p. 1991.



CS6P-260 | 265 | 270P

Os novos módulos Quartech da Canadian Solar elevaram significativamente o padrão de eficiência do módulo na indústria solar. Eles introduziram a inovadora tecnologia de células de quatro barramentos, que demonstra maior potência de saída e maior confiabilidade do sistema. Em todo o mundo, nossos clientes adotaram esta próxima geração de módulos por seu excelente desempenho, confiabilidade superior e valor aprimorado.

NOVA TECNOLOGIA

- Reduz a resistência em série de células
- Reduz o estresse entre os interconectores de células
- Melhora a eficiência de conversão do módulo
- Melhora a confiabilidade do produto

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS



Maior rendimento energético

- Excelente desempenho em baixa irradiância
- Máximo rendimento energético com baixo NOCT
- Melhor produção de energia através da redução da resistência em série de células



Maior confiabilidade do sistema

- Confiabilidade do sistema a longo prazo com caixa de junção IP67
- Maior confiabilidade do sistema em ambiente de temperatura extrema com tecnologia especial de liberação de estresse no nível da célula



Valor extra para os clientes

- Tolerância de potência positiva de até 5 W
- Estrutura robusta de 40 mm mais forte para suportar carga de neve até 5400 Pa e carga de vento até 2400 Pa
- Avaliação do projeto antirreflexo
- A resistência à névoa salina, amônia e areia soprada se aplica a ambientes à beira-mar, fazendas e desertos*



CanadianSolar



* Moldura preta produto pode ser fornecido em cima solicitar.



garantia de saída de potência linear

garantia do produto em materiais e mão de obra

CERTIFICADOS DO SISTEMA DE GESTÃO*

ISO 9001:2008 / Sistema de gestão da qualidade

ISO/TS 16949:2009 / O sistema de gestão da qualidade da indústria automotiva ISO

14001:2004 / Normas para o sistema de gestão ambiental OHSAS 18001:2007 /

Normas internacionais para saúde e segurança ocupacional

CERTIFICADOS DE PRODUTO*

IEC 61215/IEC 61730: VDE/MCS/CE/JET/SII/CEC AU/ INMETRO/CQC UL 1703/IEC

61215 desempenho: CEC listado (EUA) / FSEC (EUA Flórida) UL 1703: CSA / IEC

61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS Take-e-way / UNI

9177 Reação ao Fogo: Classe 1



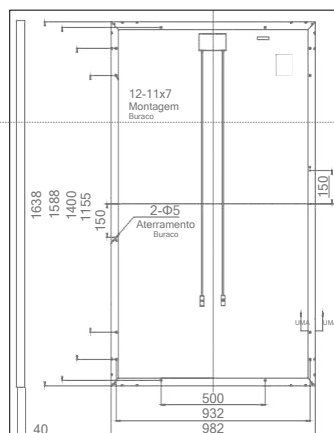
CANADIAN SOLAR INC. está empenhada em fornecer produtos solares de alta qualidade, soluções de sistemas solares e serviços para clientes em todo o mundo. Como fabricante líder de módulos solares e desenvolvedor de projetos fotovoltaicos com mais de 14 GW de módulos de qualidade premium implantados em todo o mundo desde 2001, a Canadian Solar Inc. (NAS-DAQ: CSIQ) é uma das empresas solares mais lucrativas do mundo.

CANADIAN SOLAR INC.

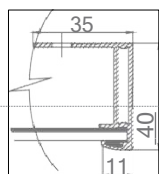
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canadá, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

DESENHO DE ENGENHARIA (mm)

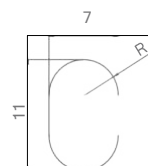
Visão traseira



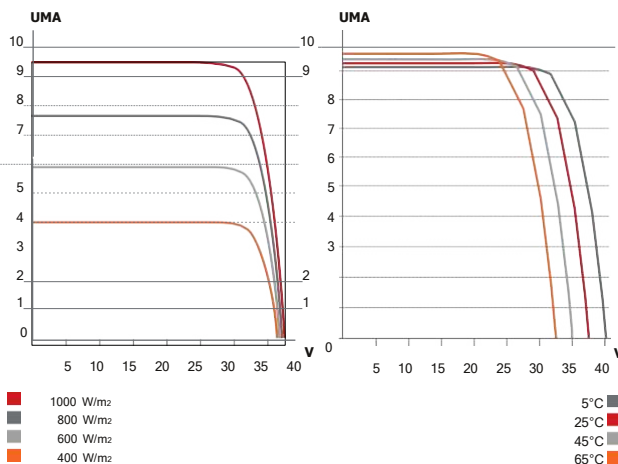
Seção Transversal do Quadro AA



Orifício de montagem



CS6P-265P / CURVAS IV



DADOS ELÉTRICOS / STC*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal máx. Potência (Pmax)	260 W	265 W	270 W
Optar. Tensão de Operação (Vmp)	30,4 V	30,6 V	30,8 V
Optar. Corrente Operacional (Imp)	8,56A	8,66A	8,75A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	37,5 V	37,7 V	37,9 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9,12A	9,23A	9,32A
Eficiência do Módulo	16,16%	16,47%	16,79%
Temperatura de operação	- 40°C ~ 5°C +8		
Máx. Tensão do Sistema	1000 V (IEC) ou 1000 V (UL)		
Desempenho de Incêndio do Módulo	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC61730)		
Máx. Classificação do fusível em série	15A		
Classificação do aplicativo	Classe A		
Tolerância de energia	0 ~ + 5 W		

* Sob Condições de Teste Padrão (STC) de irradiância de 1000 W/m², espectro AM 1,5 e temperatura da célula de 25°C.

DADOS ELÉTRICOS / NOCT*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal máx. Potência (Pmax)	189 W	192 W	196 W
Optar. Tensão de Operação (Vmp)	27,7 V	27,9 V	28,1 V
Optar. Corrente Operacional (Imp)	6,80 V	6,88 A	6,97A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	34,5 V	34,7 V	34,8 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	7,39A	7,48A	7,55A

* Sob Temperatura Nominal da Célula de Operação (NOCT), irradiância de 800 W/m², espectro AM 1,5, temperatura ambiente 20°C, velocidade do vento 1 m/s.

DESEMPENHO EM BAIXA IRRADIAÇÃO

Desempenho líder da indústria em baixa irradiância, eficiência relativa média de 96,5% a partir de uma irradiância de 1000 W/m² a 200 W/m² (AM 1,5, 25°C).

A especificação e os principais recursos descritos nesta folha de dados podem apresentar pequenas diferenças e não são garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e aprimoramento de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer qualquer ajuste nas informações aqui descritas a qualquer momento, sem aviso prévio. Por favor, obtenha sempre a versão mais recente da ficha técnica que deverá ser devidamente incorporada no contrato vinculativo celebrado pelas partes que rege todas as transações relacionadas com a compra e venda dos produtos aqui descritos.

Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e manuseio de módulos fotovoltaicos requer habilidades profissionais e deve ser realizada apenas por profissionais qualificados. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os módulos.

DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo de célula	Policristalino, 6 polegadas
Arranjo de Células	60 (6 10)
Dimensões	1638 982 40 mm (64,5 x 38,7 1,57 pol.)
Peso	18 kg (39,7 libras)
Capa	3,2 milímetros de vidro temperado
Material da estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa-J	IP67, 3 diodos
Cabo	4 milímetros (IEC) ou 4 mm² & 12AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39,4 pol.) (650 mm (25,6 pol.) é opcional)
Conectores	Amigos PV2a (IEC), Amigos PV2b (IEC/UL)
Padrão Embalagem	26 peças, 515 kg (1135,4 lbs) (quantidade e peso por palete)
Peças do Módulo por contêiner	728 peças (40' HQ)

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificação	Dados
Coefficiente de Temperatura (Pmax)	- 0,41%/°C
Coefficiente de Temperatura (Voc)	- 0,31%/°C
Coefficiente de Temperatura (Isc)	0,053%/°C
Temperatura nominal da célula de operação	45±2°C

SEÇÃO DE PARCEIROS



Digitalize este código QR para descobrir
projetos solares construídos com este módulo



ANEXO 2 – DATASHEET DO INVERSOR

/ Soldagem Perfeita/ Energia solar/ Carregamento Perfeito



SHEDDING THE LIMITS

Fronius Primo

/ O inversor comunicativo para uma gestão de energia otimizada.



/ SnapInverter
Tecnologia



/ Dados integrados
comunicação



/ SuperFlex
Projeto



/ Pico Dinâmico
Gerente



/ Rede Inteligente
Preparar



/ Zero alimentação



/ O Fronius Primo nas categorias de potência de 3,0 a 8,2 kW completa perfeitamente a geração SnapInverter. Este dispositivo monofásico sem transformador é o inversor ideal para residências particulares. Seu design inovador SuperFlex oferece máxima flexibilidade no design do sistema, enquanto o sistema de montagem SnapInverter torna a instalação e a manutenção mais fáceis do que nunca. O pacote de comunicação incluído como padrão, com WLAN, gerenciamento de energia, várias interfaces e muito mais, faz do Fronius Primo um inversor comunicativo para os proprietários.

DADOS TÉCNICOS FRONIUS PRIMO (3.0-1, 3.5-1, 3.6-1, 4.0-1, 4.6-1)

DADOS DE ENTRADA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Máx. corrente de entrada (ICC máx. 1/ EUCC máx. 2)	12,0 A / 12,0 A				
Máx. corrente de curto-circuito da matriz (MPP / ₁ MPP) 2	18,0A / 18,0A				
Min. tensão de entrada (UCC min.)	80 V				
	80 V				
Tensão inicial de alimentação (Unico de)					
Tensão nominal de entrada (Ucc. R)	710 V				
Máx. tensão de entrada (UCC máx.)	1.000 V				
Faixa de tensão MPP (Ump min.- VOC _{mp} máx.)	200 - 800 V			210 - 800 V	240 - 800 V
Número de rastreadores MPP	2				
Número de conexões DC	2 + 2				
Máx. Saída do gerador fotovoltaico (PCC máx.)	4,5 kW _{pico}	5,3 kW _{pico}	5,5 kW _{pico}	6,0 kW _{pico}	6,9 kW _{pico}

DADOS DE SAÍDA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Saída nominal CA (P _{ac,r})	3.000 W	3.500 W	3.680 W	4.000 W	4.600 W
Máx. potência de saída	3.000 VA	3.500 VA	3.680 VA	4.000 VA	4.600 VA
Corrente de saída CA (I _{ac nom})	13,0A	15,2A	16,0 A	17,4A	20,0 A
Conexão à rede (faixa de tensão)	1 ~ NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)				
Frequência (faixa de frequência)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Distorção Harmônica Total	< 5%				
Fator de potência (cos φ _{ac,r})	0,85 - 1 ind. / boné.				

DADOS TÉCNICOS FRONIUS PRIMO (3.0-1, 3.5-1, 3.6-1, 4.0-1, 4.6-1)

DADOS GERAIS	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Dimensões (altura x largura x profundidade)	645 x 431 x 204 milímetros				
Peso	21,5kg				
Grau de proteção	IP 65				
Aula de proteção	1				
Categoria de sobretensão (DC/AC) ₁₎	2/3				
Consumo noturno	< 1 W				
Projeto do inversor	Sem transformador				
Resfriamento	Refrigeração a ar regulada				
Instalação	Instalação interna e externa				
Faixa de temperatura ambiente	- 40 - +55°C				
Umidade permitida	0 - 100%				
Máx. altitude	4.000 m				
Tecnologia de conexão DC	4x DC+ e 4x DC- terminais de parafuso 2,5 - 16 mm²				
Tecnologia de conexão CA	Terminais de parafuso CA de 3 pólos 2,5 - 16 mm²				
Certificados e conformidade com as normas	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105				

EFICIÊNCIA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Máx. eficiência	97,9%	98,0%	98,0%	98,0%	98,0%
Eficiência europeia ($\eta_{U,E}$)	96,1%	96,8%	96,8%	97,0%	97,0%
η a 5% $P_{ac,r}$ ²⁾	80,8/82,5/82,5%	80,8/82,5/82,5%	80,8/82,5/82,5%	80,8/82,5/82,5%	80,8/82,5/82,5%
η a 10% $P_{ac,r}$ ²⁾	84,1/86,5/86,1%	86,3/93,6/91,8%	86,3/93,6/91,8%	86,6/93,9/92,2%	88,9/94,4/92,9%
η a 20% $P_{ac,r}$ ²⁾	90,3/95,5/94,8%	91,6/96,2/95,2%	91,6/96,2/95,2%	92,2 / 96,7 / 95,6 %	93,0 / 97,0 / 95,9%
η a 25% $P_{ac,r}$ ²⁾	91,8/96,4/95,1%	92,7/96,9/95,8%	92,7/96,9/95,8%	93,2/97,2/96,1%	93,9 / 97,2 / 96,6 %
η a 30% $P_{ac,r}$ ²⁾	92,7 / 96,9 / 96,0 %	93,5/97,2/96,3%	93,5/97,2/96,3%	94,0/97,2/96,8%	94,5/97,3/96,9%
η a 50% $P_{ac,r}$ ²⁾	94,5 / 97,4 / 97,0 %	95,0/97,7/97,3%	95,0/97,7/97,3%	95,2/97,8/97,4%	95,6/97,9/97,6%
η a 75% $P_{ac,r}$ ²⁾	95,4/97,9/97,7%	95,6/97,8/97,8%	95,6/97,8/97,8%	95,8/97,9/97,8%	96,0 / 97,9 / 97,8%
η bei 100% $P_{ac,r}$ ²⁾	95,7/97,9/97,8%	95,8/98,0/97,8%	95,8/98,0/97,8%	95,9/98,0/97,9%	96,2 / 97,9 / 98,0 %
Eficiência de adaptação MPP	> 99,9%				

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Medição de isolamento DC	Sim				
Comportamento de sobrecarga	Deslocamento do ponto de operação. Limitação de energia				
seccionador CC	Sim				
Proteção contra polaridade reversa	Sim				

INTERFACES	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)				
6 entradas e 4 entradas/saídas digitais	Interface para receptor de controle de ondulação				
USB (tomada A) ₃₎	Registro de dados, atualização do inversor via unidade flash USB				
2 x RS422 (tomada RJ45) ₃₎	Rede Solar Fronius				
Saída de sinalização ₃₎	Gerenciamento de energia (saída de relé sem potencial)				
Datalogger e servidor web	Incluído				
Entrada externa ₃₎	Interface S0-Meter / Entrada para proteção contra sobretensão				
RS485	Modbus RTU SunSpec ou conexão do medidor				

¹⁾De acordo com a IEC 62109-1.
²⁾E em Umpp min / Udc,r / Umpp max
³⁾Também disponível na versão light.

Mais informações sobre a disponibilidade dos inversores em seu país podem ser encontradas emwww.fronius.com.