

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Nathaniel Mattivi Oliveira

**PROPOSTA DO USO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA
ALIMENTAÇÃO DE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EM UMA
ESCOLA NO MUNÍCIPIO DE FELIZ**

Porto Alegre

2016

NATHANIEL MATTIVI OLIVEIRA

**PROPOSTA DO USO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA
ALIMENTAÇÃO DE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EM UMA
ESCOLA NO MUNICÍPIO DE FELIZ**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: Miguel Aloysio Sattler

Porto Alegre

2016

NATHANIEL MATTIVI OLIVEIRA

**PROPOSTA DO USO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA
ALIMENTAÇÃO DE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EM UMA
ESCOLA NO MUNICÍPIO DE FELIZ**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Professor relator da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 30 de novembro de 2016

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD pela University of Sheffield
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)
PhD pela University of Sheffield

Prof. Luís Carlos Bonin (UFRGS)
Mestre. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof Eugenia Aumond Kuhn (UniRitter)
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, amigos, namorada,
que sempre me apoiaram e especialmente durante o
período do meu curso de graduação, sempre estiveram ao
meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Sattler pelo apoio durante a elaboração do meu trabalho de conclusão e durante as ótimas aulas ministradas por ele durante a graduação.

Agradeço aos meus pais Marco Antônio e Vânia Maria, pelo apoio durante toda a minha vida, me apoiando e criticando quando achavam necessário.

Agradeço também a minha irmã Shayene, pela ótima irmã que ela sempre foi, sendo incrível como sempre.

Agradeço também ao meu padrinho Orion, que sempre trabalhou em obras, as vezes como mestre, outras como construtor, passava as horas vagas sempre desenhando casas em seus cadernos e isso sempre me fascinava quando criança.

Agradeço também a minha namorada Djanine, por me aguentar tanto tempo como estudante, sem um emprego fixo, e com um sonho maluco de me tornar engenheiro.

Agradeço também aos meus colegas de apartamento, que por longos anos dividiram a casa comigo, sendo sempre aquela voz de “não desiste” nas horas que a gente quer jogar tudo pra cima.

Ninguém vai bater mais forte do que a vida.
Não importa como você vai bater e sim o quanto aguenta
apanhar e continuar lutando; o quanto pode suportar e
seguir em frente. É assim que se consegue vencer.

Rocky Balboa

RESUMO

Este trabalho versa sobre uma proposta do uso de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de abastecimento, obedecendo às resoluções normativas da ANEEL, que criam o sistema de compensação de energia, permitindo assim, que um usuário gere energia elétrica para si próprio, sendo o excedente entregue para a concessionária, em troca de créditos de energia. Os créditos de energia podem ser utilizados em até 60 meses de duas formas distintas, uma delas é no abatimento da fatura de energia nos meses subsequentes ao acumulo dos créditos; a outra forma, seria a do abatimento da fatura de outra unidade consumidora, devendo este ser pertencente ao mesmo titular e companhia de abastecimento. O sistema fotovoltaico proposto para este trabalho foi desenvolvido para atender à demanda de iluminação de uma sala de aula, no município de Feliz no Rio Grande do Sul. A demanda lumínica desta sala de aula foi desenvolvida em outros trabalhos acadêmicos e estão disponíveis para consulta nas referências deste trabalho. Também buscou-se como referência entender como funciona o Sol e sua radiação, a Terra e seu movimento de giração planetário e as suas declinações solares, assim como conhecer como funciona o efeito fotovoltaico e como os elétrons agem quando são submetidos a radiação solar. Adicionalmente, foram apresentados os principais módulos solares e inversores existentes no mercado. A proposta apresentada neste trabalho, conta com 5 módulos fotovoltaicos com 265 Wp cada, instalados em série e um inversor de corrente de potência nominal de 1,5 kW, gerando 1.597,712 kWh anualmente. Também foi realizada uma análise financeira, que mostra que o período de retorno do investimento (Payback Descontado) fica em torno de 11 anos, assim como se relacionou o custo da energia elétrica, com e sem o sistema fotovoltaico, mostrando que a implantação do sistema se torna vantajoso a partir do 4º ano.

Palavras-chave: Módulo Fotovoltaico, Inversor, Energia Solar, Sistema Fotovoltaico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas de trabalho	20
Figura 2 – Orbita da Terra em torno do Sol	24
Figura 3 – Raios solares em relação aos trópicos	25
Figura 4 – Ângulos horários (ω) compreendidos dentro de um dia	26
Figura 5 – Relações geométricas Sol-Terra	26
Figura 6 – Exemplos de posição/altura do Sol (γ_s)	27
Figura 7 – Evolução da potência instalada em sistemas fotovoltaicos no mundo	28
Figura 8 – Representação dos componentes da radiação solar	29
Figura 9 – Processo de conversão fotovoltaico	30
Figura 10 – Média anual da irradiação diária incidindo sobre um plano horizontal	31
Figura 11 – Instalação em edifício do Laboratório de Energia Solar, no Campus do Vale, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul	32
Figura 12 – Sistema solar fotovoltaico conectado à rede	34
Figura 13 – Curvas <i>I-V</i> de duas células fotovoltaicas de silício cristalino conectadas em série	35
Figura 14 – Curvas <i>I-V</i> de duas células fotovoltaicas de silício cristalino conectadas em paralelo	35
Figura 15 – Módulo fotovoltaico com células de silício cristalino – c-Si	36
Figura 16 – Estrutura básica de uma célula de silício cristalino	37
Figura 17 – Célula fotovoltaica de silício cristalino – c-Si	37
Figura 18 – Vistas em corte de células fotovoltaicas de filmes finos de diferentes materiais.....	38
Figura 19 – (a) Esquema simplificado de uma célula fotovoltaica com corante e eletrólito. Diagrama de células fotovoltaicas orgânicas: (b) com vidro e (c) com filme depositado sobre uma superfície de PET flexível	40
Figura 20 – Localização da sala de aula estudada	45
Figura 21 – Planta baixa e corte esquemático da edificação	46
Figura 22 – Paredes externas	46
Figura 23 – Paredes internas	46
Figura 24 – Janelas superiores da fachada Norte	47
Figura 25 – Janelas superiores e prateleiras de luz	47
Figura 26 – Janelas inferiores	47
Figura 27 – Piso interno da edificação	48
Figura 28 – Radiação média diária sobre um plano horizontal – Swera	50
Figura 29 – Temperatura média mensal – Swera	50

Figura 30 – Tela do <i>Software</i> Radiasol 2	51
Figura 31 – Radiação solar mensal média sobre a superfície do módulo	52
Figura 32 – Radiação solar diária média sobre a superfície do módulo	52
Figura 33 – Detalhe do suporte de fixação	57
Figura 34 – Payback Descontado	60
Figura 35 – Payback Descontado x Custo sem implantação do sistema	61
Figura 36 – Valor Acumulado dos Fluxos de Caixa no Presente	62
Figura 37 – Taxa Interna de Retorno	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de classificação de sistemas fotovoltaicos	33
Tabela 2 – Etapas do processo de solicitação de acesso	43
Tabela 3 – Demanda energética anual	49
Tabela 4 – Perdas atribuídas ao sistema	54
Tabela 5 – Custos iniciais	58

LISTA DE SIGLAS

a-Si:H – Silício amorfo hidrogenado

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

c-Si – *Crystalline Silicon* (Silício Cristalino)

CdTe – telureto de cádmio

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica

CEFET – Centro Federal de Educação, Ciência e Tecnologia

CIGS – disseleneto de cobre, índio e gálio

CIS – disseleneto de cobre e índio

DSSC – *Dye Sensitized Solar Cells* (células fotovoltaicas sensibilizadas por corantes)

GWh – Gigawatt-hora (10^9)

IFRS – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

kWh – kilowatt-hora (10^3)

LED – Light Emitting Diode ou Diodo Emissor de Luz

Norie – Núcleo Orientado para a Inovação da Construção

PPGEC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

SFCR – Sistema fotovoltaico conectado à rede

SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (Levantamento de Recursos em Energia Solar e Eólica)

TCO – *Transparent Conductive Oxide* (Óxido Condutivo Transparente)

TiO₂ – Dióxido de titânio

TIR – Taxa Interna de Retorno

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

γ_s – altura solar (°)

α – ângulo azimutal da superfície (°)

ψ_s – ângulo azimutal do Sol (°)

ω – ângulo horário (°)

θ_s – ângulo de incidência (°)

θ_z – ângulo zenital (°)

δ – declinação solar (°)

β – inclinação da superfície (°)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	18
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	18
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA	18
2.3 PRESSUPOSTO	18
2.4 DELIMITAÇÕES	18
2.5 LIMITAÇÕES	18
2.6 DELINEAMENTO	19
3 TRABALHOS ANTERIORES DESENVOLVIDOS NA ESCOLA	21
4 RECURSO SOLAR	23
4.1 O SOL	23
4.2 RADIAÇÃO SOLAR	27
4.3 EFEITO FOTOVOLTAICO	29
4.4 BASE DE DADOS SOBRE ENERGIA SOLAR NO BRASIL	31
5 SISTEMA FOTOVOLTAICO	32
5.1 CLASSIFICAÇÃO	32
5.2 COMPONENTES BÁSICOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA DE DISTRIBUIÇÃO	34
5.2.1 Módulo fotovoltaico	35
5.2.1.1 Células de Silício Cristalino – c-Si	36
5.2.1.2 Células de Filmes Finos	38
5.2.1.3 Células Orgânicas e de Corantes	39
5.2.2 Inversores de tensão	40
5.3 LEGISLAÇÃO PARA A GERAÇÃO DISTRIBUIDA NO BRASIL.....	42
6 PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE	44
6.1 CARACTERIZAÇÃO DA SALA DE AULA E DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA .	44
6.2 ILUMINAÇÃO SUGERIDA PARA O ESTUDO DE CASO	48
6.3 DEMANDA ENERGÉTICA	49
6.4 IRRADIAÇÃO SOLAR	49
6.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	53
6.5.1 Módulo fotovoltaico	53
6.5.2 Inversor de corrente	55
6.5.3 Cabos	56

6.5.4 Suporte de fixação	57
6.6 ANÁLISE ECONÔMICA	58
6.6.1 Custo de implantação do sistema	58
6.6.2 Taxas e tarifas aplicadas	59
6.6.3 Método e cálculo de Payback Descontado	59
6.6.4 Método e cálculo do Valor Presente Líquido (VPL)	61
6.6.5 Método e cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR)	63
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
7.1 CONCLUSÃO	65
7.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	65
REFERÊNCIAS	67
ANEXO A	70
ANEXO B	72
ANEXO C	74
ANEXO D	76
ANEXO E	79

1 INTRODUÇÃO

Vivemos em um mundo cada vez mais populoso, com mais pessoas precisando de alimentos, transporte, energia para equipamentos elétricos em geral. Em contrapartida, os recursos naturais de nosso planeta estão cada vez mais escassos e qualquer medida para amenizar nosso impacto deve ser avaliada sobre todos os aspectos, não somente o econômico, mas também a forma como é realizada.

Atualmente, grande parte da iluminação de casas, comércios e indústrias são provenientes de redes concessionárias de abastecimento e que usam basicamente hidroelétricas e termoelétricas na produção de energia elétrica. A preocupação com a sustentabilidade e os custos, vem fazendo com que as pessoas busquem métodos alternativos para a geração de energia nas suas casas.

A energia solar é considerada uma energia “limpa”, com um baixo impacto ambiental, e a instalação de painéis fotovoltaicos nas residências não deve ser desconsiderada na criação de um novo empreendimento. Pelo contrário, devem ser analisadas com muito esmero, devendo sempre buscar um equilíbrio financeiro-ambiental.

Em 2012, foi regulamentada pela ANEEL, a micro geração e distribuição de energia elétrica, esta regulamentação veio como um incentivo ao pequeno usuário, que agora pode abater parte do seu custo com a conta de energia elétrica, “vendendo” energia para rede de distribuição. Este sistema não permite o recebimento em dinheiro do que é produzido em excesso, o usuário recebe apenas créditos, validos para serem usados em um período de até 60 meses.

A proposta deste trabalho será a adoção de um sistema solar, utilizando painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica para iluminação de uma sala de aula. Esta sala de aula será iluminada com lâmpadas do tipo “LED”. Este sistema também será conectado à rede elétrica convencional, e pode tanto “vender” energia para a concessionária quando há excedente, como “comprar” energia quando há um excesso de consumo.

Este trabalho utilizará dados previamente levantados e analisados de algumas publicações acadêmicas que já estudaram esta escola previamente, como trabalhos sobre “eficiência energética de iluminação” e “desempenho lumínico”.

Ele também será dividido em seis capítulos, além da presente introdução, nos quais abordará como funciona a energia solar, tipos de sistemas fotovoltaicos, características da escola estudada, dimensionamento dos equipamentos utilizados, análise financeira e conclusão do estudo de caso.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: que tipo de melhoria ou vantagem se obteria com o uso de energia fotovoltaica na produção de energia elétrica para abastecimento de uma sala de aula com o uso de lâmpadas LED?

2.2 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo da pesquisa é propor uma solução, usando energia solar para abastecer a demanda de energia elétrica para lâmpadas LED em uma sala de aula e identificar o tempo de retorno do investimento.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem como pressuposto que os trabalhos e estudos já realizados anteriormente, possuem dados seguros para a elaboração de uma proposta de uso de energia solar para iluminação de uma sala de aula. Ainda pressupõe-se que as NBR (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) correspondentes, os manuais de fabricantes, e a literatura existente, fornecem dados factíveis para a realização desse projeto.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo e a uma elaboração de uma proposta do uso de sistema solar para uma sala de aula, em uma escola na cidade de Feliz – RS.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações deste trabalho:

A análise considera que apenas uma sala de aula receberá a implantação do sistema solar.

A análise será feita com base em normas técnicas e manuais de fabricantes, e serão usados também dados já apresentados por outros trabalhos acadêmicos.

Quanto aos materiais utilizados, caso haja pequena ou nenhuma diferença técnica, será adotado o de menor valor comercial.

O sistema não possuirá baterias auxiliares para armazenamento de energia.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) Pesquisa bibliográfica;
- b) Caracterização da escola e da sala de aula objeto de estudo;
- c) Modelagens e simulações;
- d) Elaboração do projeto;
- e) Análise de resultados;
- f) Considerações finais.

A etapa de **pesquisa bibliográfica** tem como objetivo principal dar embasamento técnico e teórico ao autor na realização deste trabalho, realizando a busca em publicações, livros e normas técnicas. A pesquisa bibliográfica também auxilia na verificação dos resultados, dando validade ou não em comparação a outros trabalhos e normas existentes.

Na etapa de **caracterização da escola e da sala de aula**, serão mostrados aspectos geográficos e físicos, tanto da cidade quanto da escola, aspectos arquitetônicos da sala de aula também serão apresentados.

Na etapa de **modelagem e simulações** serão mostrados os modelos disponíveis no mercado para a venda e execução do projeto. Também serão mostrados dados apresentados em outros estudos, como a quantidade ideal de luz para uma sala de aula.

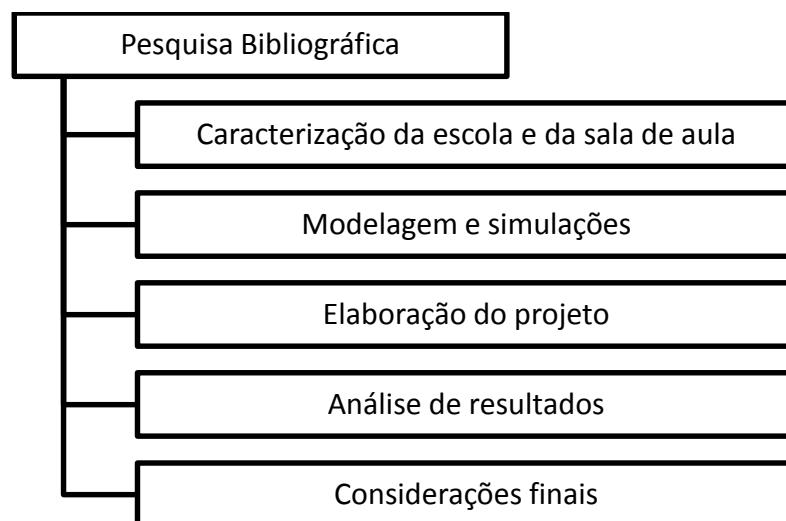
Na etapa de **elaboração do projeto**, será feito todo o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e do inversor, sendo eles instalados no ponto mais favorável do prédio.

Ainda na elaboração do projeto, o sistema também será conectado a uma rede pública de energia elétrica, podendo tanto “vender” energia, quando estiver gerando mais o que consome, quanto “comprar” energia, quando existir um excesso de consumo.

Na etapa de **análise de resultados** será apresentada a proposta de instalação dos painéis fotovoltaicos e de todo o sistema, quantificação dos materiais e dos custos, contabilizará também tudo o que será despendido para execução do sistema. Esses valores serão usados de base para as considerações finais.

No fim do trabalho, as **considerações finais** abordarão aspectos econômicos, considerações do autor, dificuldades, obstáculos e vantagens encontrados para o modelo estudado; também abordará sugestões para elaboração de futuros novos trabalhos sobre o tema.

Figura 1 - Diagrama das etapas de trabalho



(fonte: elaborado pelo próprio autor)

3 TRABALHOS ANTERIORES DESENVOLVIDOS NA ESCOLA

A escola, também denominada de Instituto Federal, é alvo de estudos desde 2002, quando realizou uma parceria com o grupo de pesquisa em Edificações e Comunidades Sustentáveis do NORIE/UFRGS, buscando uma visão mais sustentável para o empreendimento, se atendo assim, a três pilares fundamentais: a educação ambiental, a arquitetura sustentável, e o respeito ao meio ambiente (BILHALVA JUNIOR, 2016).

Três dissertações anteriores foram utilizados como base para elaboração deste trabalho. Eles foram desenvolvidos de forma continuada, aonde um autor utilizou-se de dados obtidos nos trabalhos anteriores para desenvolver o seu próprio estudo.

O primeiro trabalho utilizado é o da autora Christine Cunha Krum, defendido em 2011. Este trabalho é intitulado “Desempenho lumínico em edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: um estudo de caso”.

Neste trabalho, Krum (2011) avalia o desempenho lumínico da edificação escolar a partir de aspectos sustentáveis e bioclimáticos, também descreve algumas decisões projetuais tomadas pelos autores e compara resultados medidos *in loco* com os desejados na elaboração do projeto.

Os dados levantados por Krum (2011) como as plantas arquitetônicas e dados sobre a vegetação próxima são de grande importância para a elaboração do presente trabalho.

Krum (2011) ainda termina o seu trabalho, questionando algumas decisões tomadas pelos projetistas e elenca algumas possíveis alterações arquitetônicas que poderiam trazer benefícios para o desempenho da edificação.

A segunda dissertação utilizada no estudo continuado desta sala de aula é o do autor Mariano Fernandes Bocchese, defendido em 2011. Este trabalho é intitulado de “Projeto luminotécnico em escola no município de Feliz: Otimização do aproveitamento da luz natural”.

Neste trabalho, Bocchese (2011) elabora uma proposta luminotécnica, buscando uma melhor eficiência energética e lumínica para a sala de aula.

Em sua proposta Bocchese (2011) realiza uma alteração no *layout* das luminárias, pois em sua análise, uma nova disposição melhora a distribuição e a uniformidade da luz na sala de aula.

O terceiro e último trabalho utilizado é o do autor Edson Estivaleta Bilhalva Junior, apresentado em 2016. Este trabalho é intitulado “Eficiência energética em iluminação: Impacto econômico do uso de lâmpadas LED e painéis zenitais”.

Em seu trabalho, Bilhalva Junior (2016) utiliza um novo *layout*, proposto por Bocchese (2011), mas ele faz uma comparação entre quatro modelos de iluminação natural e artificial, sendo eles:

- a) O sistema lumínico já existente.
- b) Sistema com lâmpadas LED.
- c) Sistema com lâmpadas LED, com dimerização automática.
- d) Sistema com lâmpadas LED, com dimerização automática e painéis zenitais.

Em sua análise, Bilhalva Junior (2016) levou em consideração que a sala de aula possuía apenas dois turnos de aula, com quatro horas de duração cada, totalizando oito horas de iluminação diária.

Neste trabalho, Bilhalva Junior conclui que o modelo mais viável economicamente é o sistema composto somente por lâmpadas de LED, sem nenhum tipo de dimerização ou de painéis zenitais.

Para a realização deste trabalho foi considerado o sistema lumínico proposto por Bilhalva Junior (2016), também levou-se em consideração os dados de energia apresentados por ele.

4 RECURSO SOLAR

A energia solar irradiada pelo sol, tanto em forma de luz, como em forma de calor, é uma das fontes responsáveis por praticamente todas as outras fontes de energia na terra. Um exemplo são as plantas que acabam usando essa energia para fazer a fotossíntese, crescer, e após, podem ser usadas como combustível em usinas (PINHO et al., 2008).

4.1 O SOL

Para Farret (1999), “o Sol é uma fonte perene, silenciosa, gratuita e não poluente de energia e é responsável por todas as formas de vida no planeta”.

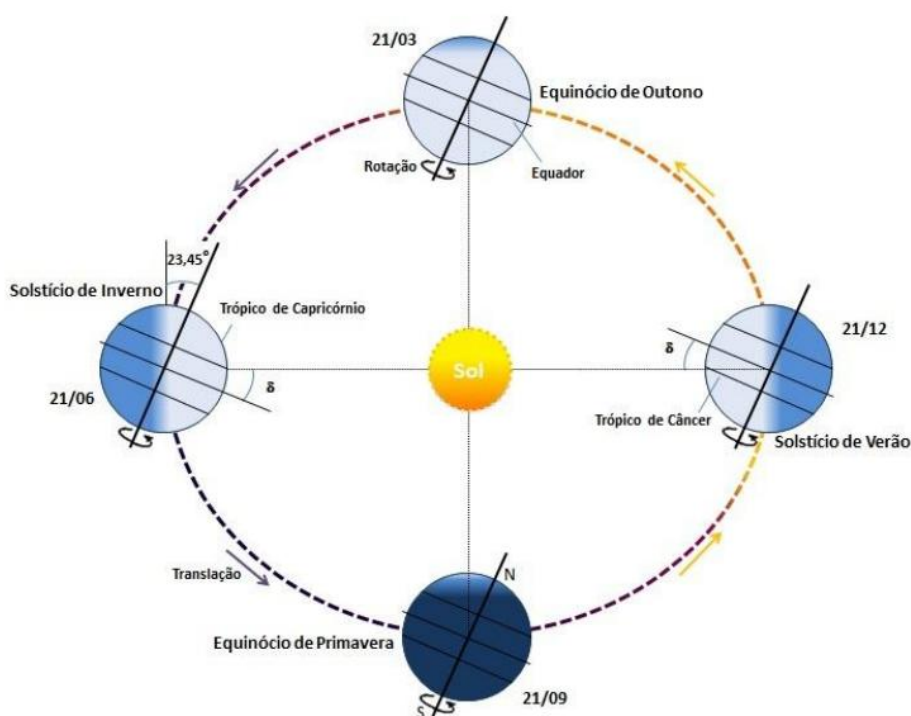
Para Craveiro (2005):

O sol é incontestavelmente a maior fonte de energia para a humanidade. A energia solar é a fonte primária da maior parte da energia disponível na Terra e, de forma indireta, é responsável pelas energias hidráulicas, eólica, da biomassa e de natureza fóssil.

A terra realiza em torno do Sol, anualmente, uma trajetória elíptica. Esse movimento da terra acontece de forma inclinada ($23,45^\circ$ com o plano equatorial celeste), fazendo com que em um determinado mês do ano o hemisfério sul da terra fique mais próximo ao sol, e em outro, o hemisfério norte fique mais próximo. Esse ângulo de inclinação da terra também é chamado de Declinação Solar (δ) (PINHO et al., 2008).

Existem duas datas por ano em que o valor da declinação solar é zero, e esses dias são chamados de equinócio de outono e equinócio de primavera (20/21 de março e 22/23 de setembro respectivamente). Também acontecem duas datas nas quais ocorrem a máxima e mínima declinação solar, e esses dias são chamados de solstício de inverno e solstício de verão (21/22 de junho e 21/22 de dezembro respectivamente). Vale ressaltar que esses nomes só são válidos para o hemisfério sul, onde o verão acontece do final de dezembro a meados de março; já, neste período, está acontecendo o inverno no hemisfério norte (PINHO et al., 2008).

Figura 2 – Órbita da Terra em torno do Sol



(fonte: PINHO, GALDINO, 2014)

Uma das equações apresentadas por Pinho et al. (2008) para o cálculo aproximado da declinação solar (δ), em um dado dia do ano é:

$$\delta = 23,45 * \text{sen}\left(360 * \frac{284 + d_n}{365}\right) \quad (\text{fórmula 1})$$

Sendo:

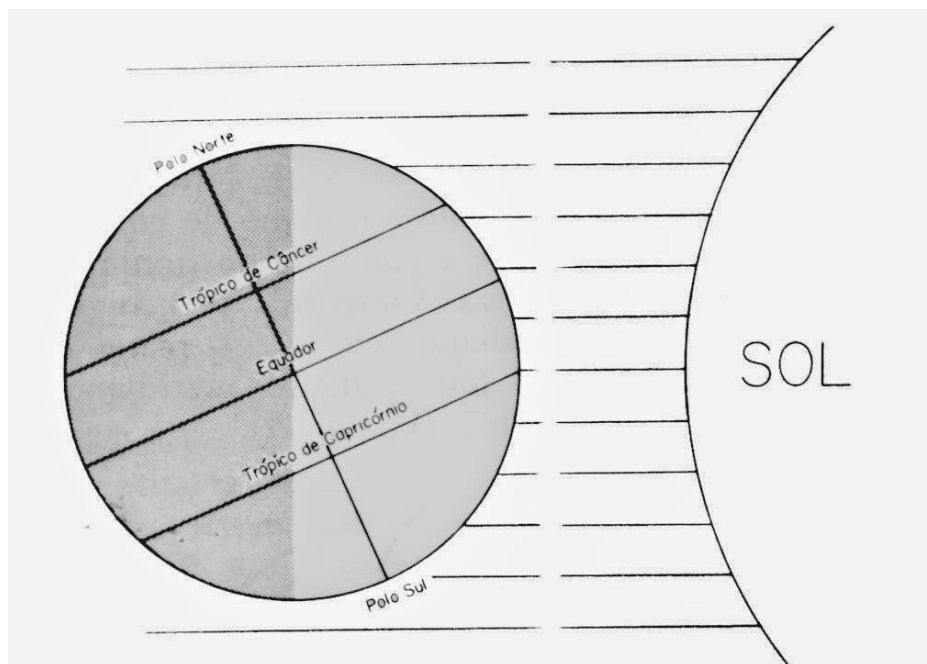
d_n = o dia no calendário juliano (1=1° de janeiro e 365=31 de dezembro);

δ = o ângulo, em graus;

Essa equação nos mostra valores compreendidos entre $(-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ)$, sendo o valor de $-23,45^\circ$ o momento que o sol está perpendicular ao paralelo de $23,45^\circ\text{S}$ (trópico de Capricórnio) e o valor de $23,45^\circ$ o momento que o sol está perpendicular ao paralelo de $23,45^\circ\text{N}$ (trópico de Câncer).

Todos os paralelos compreendidos entre os trópicos de Capricórnio (23,45°S) e de Câncer (23,45°N) terão em algum momento do ano, ao menos um ângulo de inclinação no qual os raios solares incidem perpendicularmente à face da Terra.

Figura 3 – Raios solares em relação aos trópicos



(fonte: AZEVEDO, 2011)

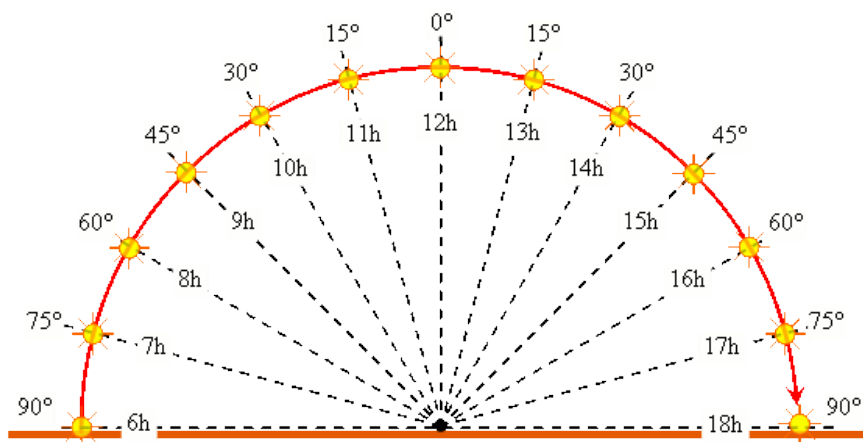
Pinho et al. (2008) nos mostra alguns nomes e relações geométricas que facilitam a compreensão de como os raios solares incidem numa superfície S qualquer da Terra.

- Ângulo de incidência (θ_s): Ângulo compreendido entre o raio solar e a normal (n) à superfície de captação.
- Altura solar (γ_s): Ângulo formado entre o raio solar e a sua projeção sobre o plano horizontal.
- Ângulo azimutal da superfície (α): ângulo compreendido entre a projeção normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul. O deslocamento angular é tomado a partir do Norte e está compreendido entre -180° e 180° , sendo considerado positivo quando a projeção se encontra à esquerda do Norte e negativo quando se encontra à sua direita
- Ângulo azimutal do Sol (ψ_s): Ângulo formado entre a projeção do raio solar no plano horizontal e a direção Norte-Sul. Obedece à mesma convenção citada para o ângulo azimutal da superfície.
- Inclinação da superfície (β): ângulo formado entre o plano da superfície coletora e a horizontal.

- Ângulo zenital (θ_z): ângulo formado entre o raio solar e o Zênite, equivalente à distância angular entre o feixe solar e a vertical do local de incidência.

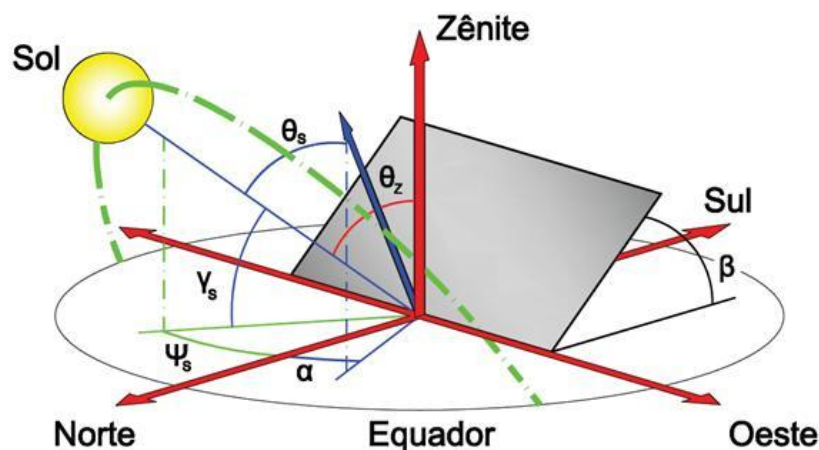
- Ângulo horário (ω): ângulo entre o meridiano do sol e o meridiano do local. O ângulo horário (ω) considera todo o intervalo de horas entre o nascer e o pôr-do-sol, sendo negativo pela manhã e positivo à tarde, como ilustra a figura 4. Cada hora angular corresponde a um deslocamento de 15° .

Figura 4 – Ângulos horários (ω) compreendidos dentro de um dia



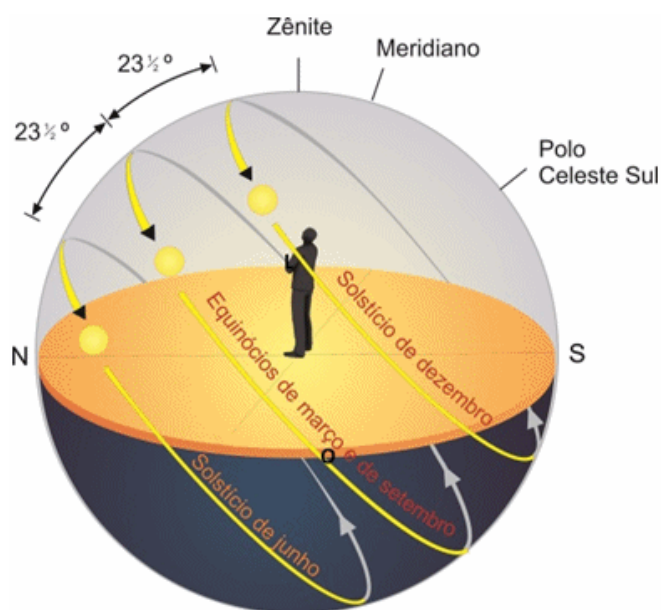
(fonte: REIDER, 2010)

Figura 5– Relações geométricas Sol-Terra



(fonte: LISBOA, 2010)

Devido aos movimentos da Terra em torno do Sol, cada paralelo mostrará o Sol em diferentes posições no céu a cada dia do ano (γ_s), como ilustra a figura 6, irradiando assim o planeta de forma distinta para latitudes e dias do ano distintos.

Figura 6 – Exemplos de posição/Altura do sol (γ_s)

(fonte: SARAIVA, 2016)

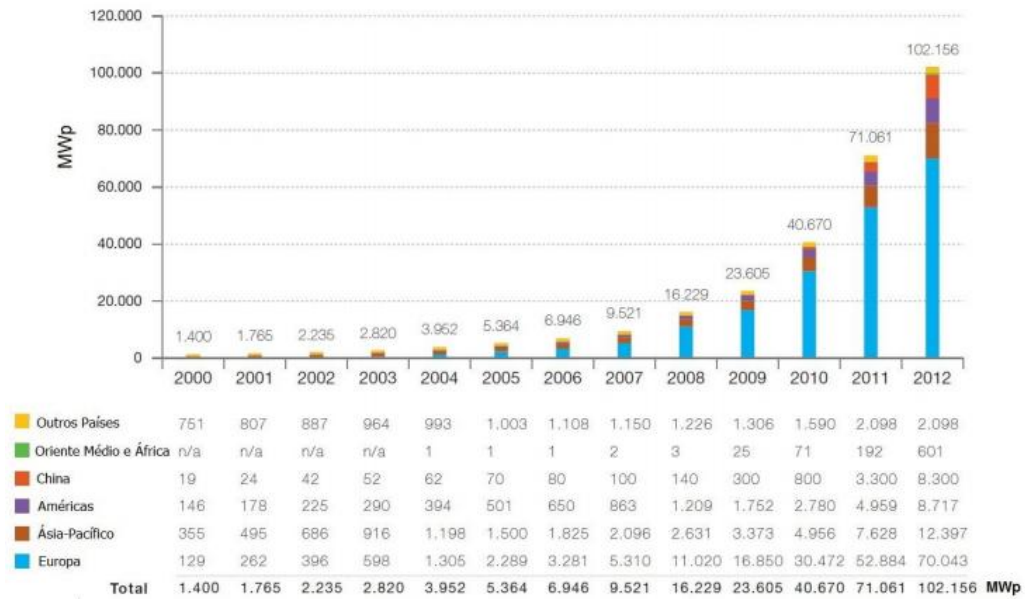
4.2 RADIAÇÃO SOLAR

Anualmente, o nosso planeta recebe do Sol $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia. Esse valor corresponde a, aproximadamente, 10.000 vezes o consumo planetário de energia, no mesmo período. Tal acontecimento é um dos responsáveis pela vida na Terra. Essa radiação solar é considerada uma fonte inesgotável de energia e possui um potencial enorme para ser explorado por sistemas de captação e conversão de energia (PINHO et al., 2008).

O Brasil, por ser um país localizado, em sua maior parte, na zona intertropical, recebe uma enorme quantidade de irradiação solar. Essa quantidade é muito superior à de países do continente europeu, que possuem uma irradiação solar muito menor, mas que ao mesmo tempo apresentam uma maior produção de energia solar em MegaWatts (PINHO et al., 2008).

Segundo Pinho et al. (2008), a “radiação solar” é uma forma de energia eletromagnética, que se propaga na velocidade da luz e que pode atingir a Terra em quantidades variadas. Essa variação ocorre, principalmente, pela geometria Sol-Terra e por condições climáticas gerais, como a presença ou não de nuvens.

Figura 7 – Evolução da potência instalada em sistemas fotovoltaicos no mundo



(fonte: EPIA, 2013 apud PINHO, GALDINO 2014)

Um valor médio de radiação que atinge a camada externa da atmosfera é de $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$. Esse valor também é conhecido como “Constante Solar” (PINHO, GALDINO, 2014).

O termo Irradiância (G_0) é definido como sendo a potência total de radiação incidente em uma superfície e pode ser definido em função da radiação solar (PINHO et al., 2008).

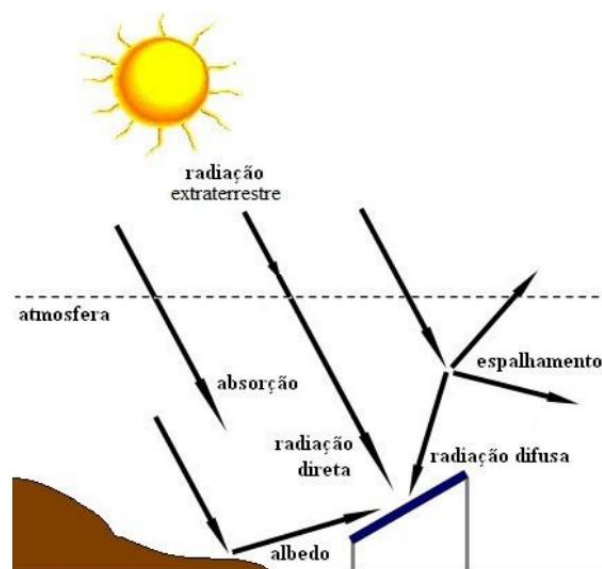
$$G_0 = G_{SC} * \left(1 + 0,033 * \cos \frac{360 * d_n}{365}\right) \quad (\text{fórmula 2})$$

Sendo:

d_n = o dia no calendário juliano (1=1° de janeiro e 365=31 de dezembro);

A radiação solar, após entrar em nossa atmosfera, acaba sendo dividida em três componentes, como mostra a figura 8. A **radiação difusa** é definida como sendo a radiação que é desviada pelas moléculas de ar e água e conseguem atingir o solo; o **albedo** é definido com a radiação que é refletida pelo solo; e a **radiação direta** é definida como a única que atinge o solo sem sofrer qualquer desvio. Esse conjunto de radiações também é definido como “radiação global” (PINHO et al., 2008).

Figura 8 – Representação dos componentes da radiação solar



Fonte: (PINHO et al., 2008)

Ainda segundo Pinho et al. (2008)

Ao atravessar a atmosfera, a composição espectral da radiação varia de acordo com as características da atmosfera. A composição espectral da radiação varia de acordo com as características geográficas e meteorológicas locais. Estas últimas são aleatórias e de difícil previsão. Para contornar esse problema, utilizam-se modelos teóricos estatísticos que estimam a interferência da atmosfera na irradiação disponível, a partir de longas séries históricas de medidas.

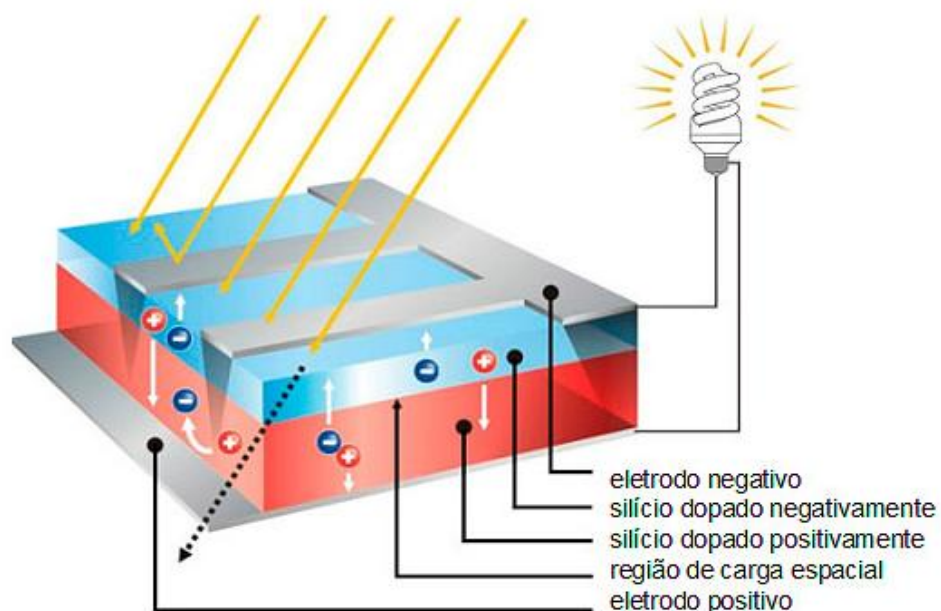
4.3 EFEITO FOTOVOLTAICO

Segundo Pinho et al. (2008), foi o cientista francês Edmond Becquerel, que em 1839, notou pela primeira vez o efeito fotovoltaico. Edmond fazia experimentos com células eletrolíticas e notou que quando as células eram colocadas sob a luz, a geração de eletricidade aumentava. Mas foi somente em 1954 que Daryl Chaplin, Calvin Fuller e Gerald Pearson desenvolveram a primeira célula fotovoltaica de silício, que era capaz de converter energia solar em eletricidade.

Pinho et al. (2008) ainda afirmam dizendo que o “efeito fotovoltaico é definido como a conversão direta de luz em eletricidade”.

Uma célula fotovoltaica é constituída de duas placas, geralmente, de materiais semicondutores pertencentes ao grupo 4 da tabela periódica. Esses materiais, quando puros, possuem a banda de condução vazia e a banda de valência completamente preenchida. Uma maneira de fazer com que exista corrente elétrica entre esses materiais é realizando a adição de “impurezas” ou “dopagem”. Essas impurezas adicionam elétrons em um dos materiais (denominado tipo *n*), e retiram elétrons de outro (denominado tipo *p*). O deslocamento de carga que ocorre na região da junção acaba originando uma diferença de potencial, que se forem conectados a uma rede externa geram uma corrente elétrica, como mostra a figura 9 (PINHO et al., 2008).

Figura 9 – Processo de conversão fotovoltaico



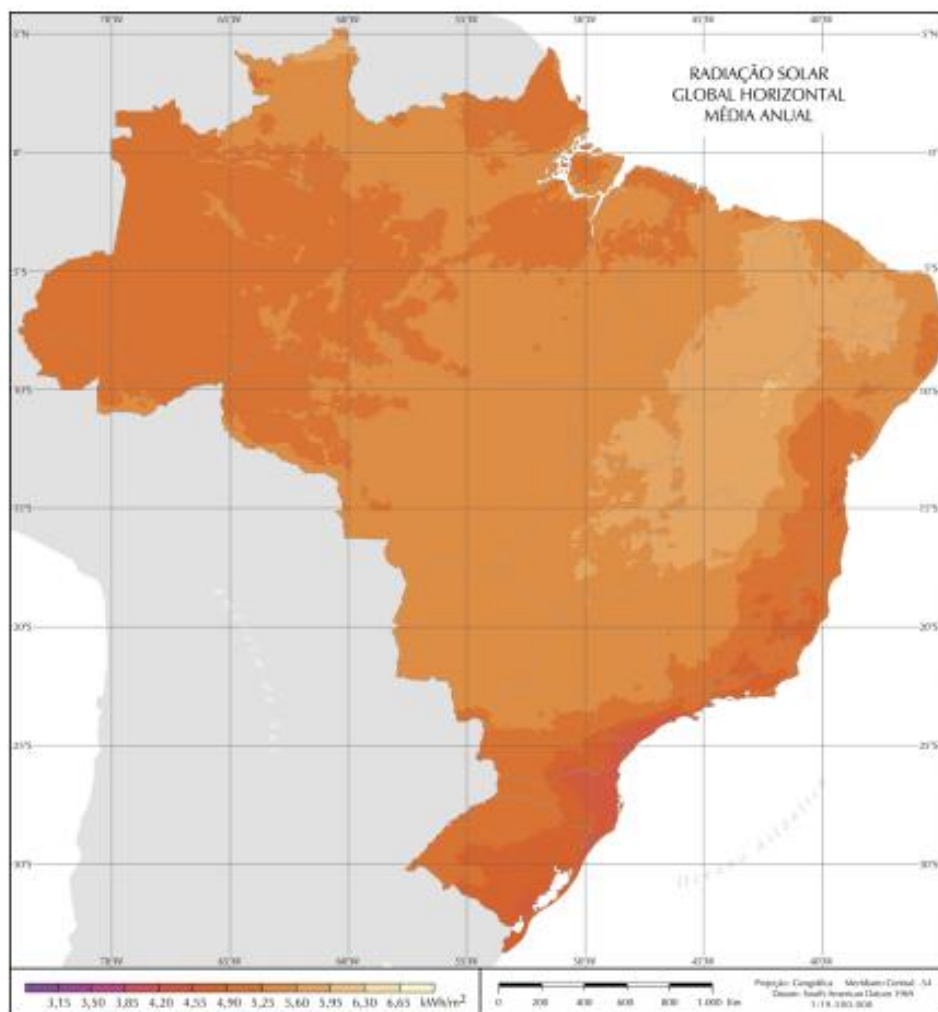
(fonte: FOTOVOLTEC, 2016)

As células fotovoltaicas possuem uma tensão muito baixa, da ordem de 0,5 a 0,8V para as células de silício. Assim, para se obter tensões maiores é indispensável conecta-las em série, formando um módulo, para que a resultante seja igual à soma de todas as tensões das células individualmente. Os materiais que são empregados na criação de um módulo são muito frágeis, devendo eles ser encapsulados em placas rígidas ou flexíveis, constituindo uma proteção mecânica e contra intempéries importantes para o conjunto. (PINHO, GALDINO, 2014).

4.4 BASE DE DADOS SOBRE ENERGIA SOLAR NO BRASIL

Uma das bases de dados confiáveis hoje para a obtenção dos dados sobre a radiação solar sobre o Brasil é o “Atlas Brasileiro de Energia Solar”. Esse atlas foi desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e o LABSOLAR/UFSC (Laboratório de Energia Solar da Universidade de Santa Catarina), dentro do escopo do projeto Swera (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*). O projeto Swera foi financiado pelo programa das Nações Unidas e o seu objetivo era promover uma base de dados confiável para o desenvolvimento e planejamento de várias áreas, desde a acadêmica até a política. Os dados levantados podem ser acessados através de seu site e possuem a sua distribuição gratuita (PEREIRA et. al., 2006).

Figura 10 - Média anual da irradiação diária incidindo sobre um plano horizontal



(fonte: PEREIRA, 2006)

5 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um sistema fotovoltaico é um sistema capaz converter a radiação solar em energia elétrica, capaz de suprir totalmente, ou parcialmente as necessidades de uma residência ou indústria.

Uma vantagem desse sistema, quando aplicado em edifícios, aponta Pinho et al. (2008), é de não requerer, necessariamente, a criação de espaços adicionais para a aplicação do sistema, visto que ele pode ser incorporado à própria superfície da edificação.

Figura 11 – Instalação em edifício do Laboratório de Energia Solar, no Campus do Vale, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul



(fonte: PAIVA, 2016)

5.1 CLASSIFICAÇÃO

Segundo Pinho e Galdino (2014)

“Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em duas categorias principais, **isolados** e **conectados à rede**. Em ambos os casos, podem operar a partir apenas da fonte fotovoltaica ou combinados com uma ou mais fontes de energia, quando são chamados de híbridos”.

Os sistemas isolados ainda podem ser divididos em: puramente fotovoltaico, no qual a energia gerada é proveniente apenas da radiação solar, ou híbridos, que podem ser a integração de dois ou mais sistemas, como Eólico-Diesel, Fotovoltaico-Eólico e Fotovoltaico-Eólico-Diesel.

Geralmente os sistemas isolados precisam de algum tipo de armazenamento de energia, pois como ele não está conectado à rede, se a energia não for usada instantaneamente ela será perdida (PINHO, GALDINO, 2014).

Tabela 1 – Exemplos de classificação de sistemas fotovoltaicos

Tipo de sistema		Alimentação dos consumidores	Acumulação de energia elétrica	Componentes básicos	Aplicações típicas
Sistemas isolados	Puros	Tensão contínua	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)	Bombeamento, produção de hidrogênio etc.
			Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica etc.
		Tensão alternada	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial etc.
			Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor	Eletrificação rural, bombeamento, telecomunicações, uso industrial, iluminação etc.
	Híbridos	Tensão contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar	Telecomunicações, iluminação, sinalização rodoviária e ferroviária etc.
		Tensão alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar	Iluminação, uso industrial etc.
Sistemas conectados à rede elétrica	Puros	Tensão alternada	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
	Híbridos	Tensão alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
			Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador	Eletrificação rural, uso industrial, suprimento ininterrupto de energia etc.
NOTA Todos os tipos de sistemas possuem gerador fotovoltaico entre os componentes básicos.					

(fonte: ABNT NBR 11704:2008)

Uma das formas de armazenamento de energia é usando baterias, que podem suprir a demanda de energia em períodos de baixa ou nenhuma produção, como o noturno por exemplo.

Outras formas de armazenamento podem existir, como a energia potencial gravitacional. Esse tipo de armazenamento pode ser usado em reservatórios, já que a água bombeada irá ficar em um lugar mais alto, para uso posterior (PINHO, GALDINO, 2014).

Pinho e Galdino (2014) também descrevem o Sistema Conectado à Rede:

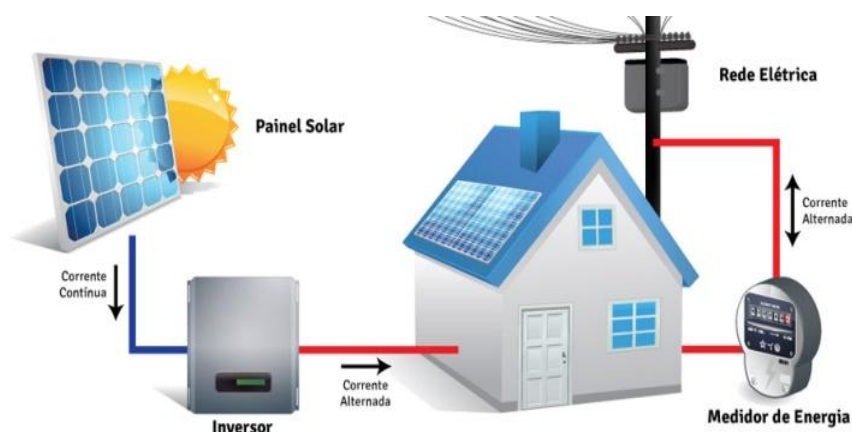
“Sistemas conectados à rede são aqueles em que a potência produzida pelo gerador fotovoltaico é entregue diretamente à rede elétrica. Para tanto, é indispensável que se utilize um inversor que satisfaça às exigências de qualidade e segurança, para que não degrade a qualidade do sistema elétrico ao qual se interliga o gerador fotovoltaico. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) foram incluídos na regulamentação disposta pela Aneel, através da Resolução 482 de abril de 2012, que estabelece preliminarmente as condições gerais para o acesso a microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Atualmente a regulamentação não permite a operação ilhada desses sistemas, ou seja, em caso de falta de energia na rede de distribuição o SFCR para de funcionar”.

Neste trabalho, o sistema adotado será o conectado à rede (on-grid), pois segundo Pinho et al. (2008), esse tipo de instalação costuma ser, em média 40%, mais barato do que os sistemas isolados, isso ocorre devido ao fato de não haver a necessidade do armazenamento de energia em baterias, pois toda a potência gerada e não utilizada é entregue instantaneamente à rede pública.

5.2 COMPONENTES BÁSICOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA DE DISTRIBUIÇÃO

Para um sistema fotovoltaico funcionar adequadamente, alguns equipamentos são essenciais para a transformação da radiação solar em energia alternada. O Módulo fotovoltaico e o Inversor são os mais importantes.

Figura 12 – Sistema solar fotovoltaico conectado à rede

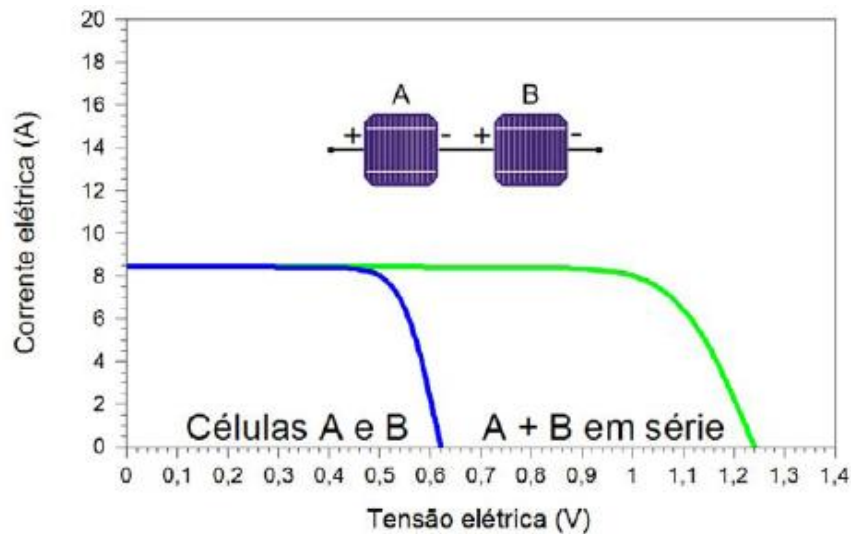


fonte (REAL SOLAR, 2016)

5.2.1 Módulos fotovoltaicos

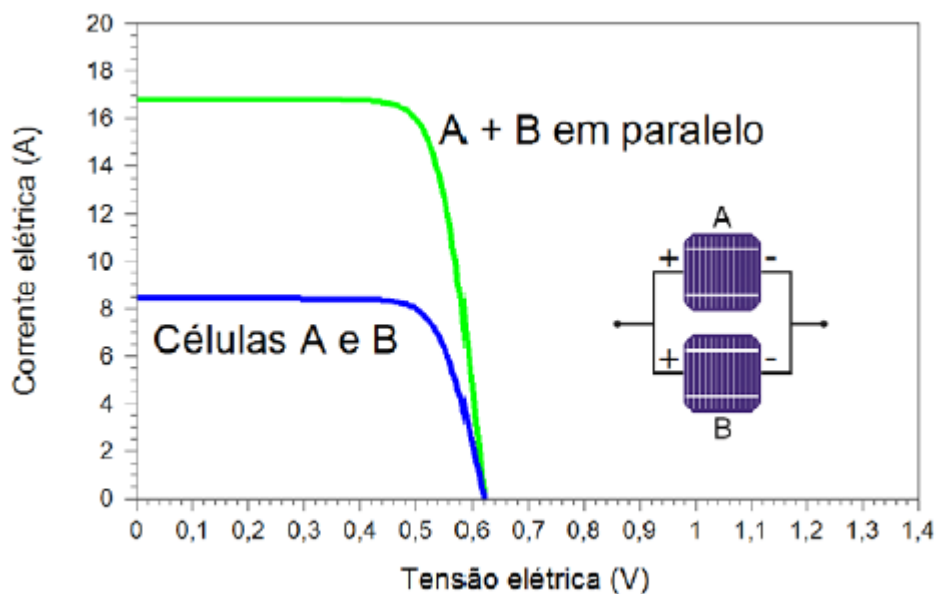
Um módulo fotovoltaico é constituído de várias células fotovoltaicas, conectadas em arranjos entre si. Cada célula fotovoltaica apresenta um valor de corrente e tensão muito baixa, necessitando assim conecta-las, tanto em série, quanto paralelo, para se conseguir uma tensão e corrente suficiente para alimentar aparelhos elétricos (PINHO et al. 2008).

Figura 13 – Curvas I - V de duas células fotovoltaicas de silício cristalino conectadas em série



(fonte: PINHO, GALDINO, 2014)

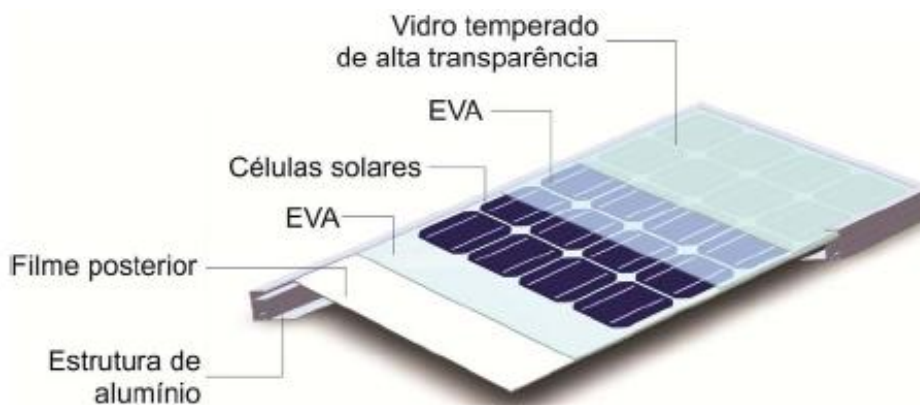
Figura 14 – Curvas I - V de duas células fotovoltaicas de silício cristalino conectadas em paralelo.



Fonte: (PINHO, GALDINO, 2014)

Os módulos também são responsáveis por fornecer proteção mecânica e contra intempéries às células fotovoltaicas. Aumentando assim a durabilidade e promovendo a segurança do conjunto (PINHO, GALDINO, 2014).

Figura 15 – Módulo fotovoltaico com células de silício cristalino – c-Si



Fonte: (PINHO, GALDINO, 2014)

Segundo Pinho e Galdino (2014), atualmente as células fotovoltaicas são separadas em três gerações, sendo as células de primeira geração, as que possuem uma maior representatividade no mercado.

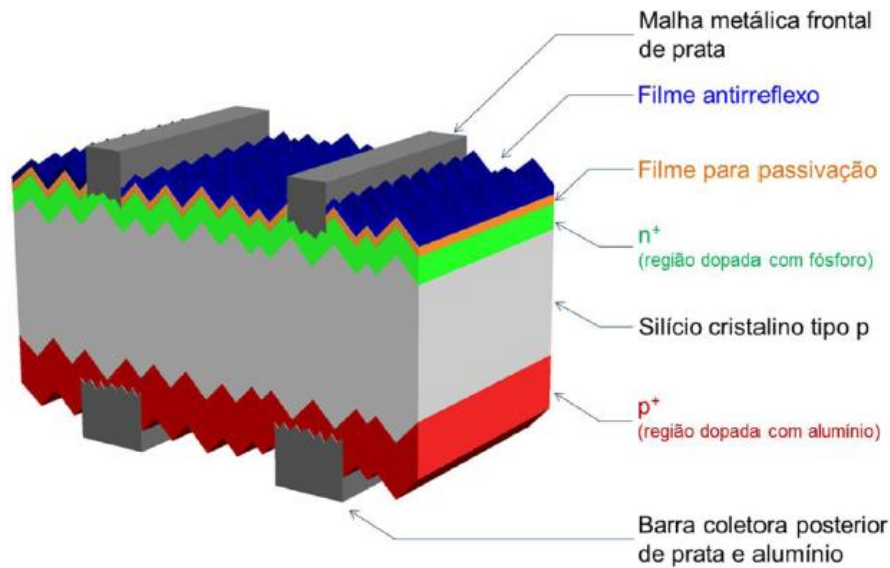
5.2.1.1 Células de Silício Cristalino – c-Si

Segundo Pinho e Galdino (2014) diversas tecnologias foram desenvolvidas sobre a fabricação de células fotovoltaicas, sendo em 2011, as lâminas de silício cristalino (monocristalino e policristalino) dominante no mercado mundial, representando cerca de 87,9% deste mercado.

A estrutura básica de uma célula fotovoltaica de c-Si, é apresentada por Pinho e Galdino (2014) na figura 16. Seus principais componentes são:

- a) Lamina de silício cristalino tipo p dopada com boro.
- b) Região n+ dopada com fósforo.
- c) Região p+ dopada com alumínio.
- d) Malha metálica frontal fabricada com prata.
- e) Barras coletoras ou malha metálica traseira de alumínio-prata.
- f) Filme antirreflexivo.
- g) Filme para passivação.

Figura 16 – Estrutura básica de uma célula de silício cristalino

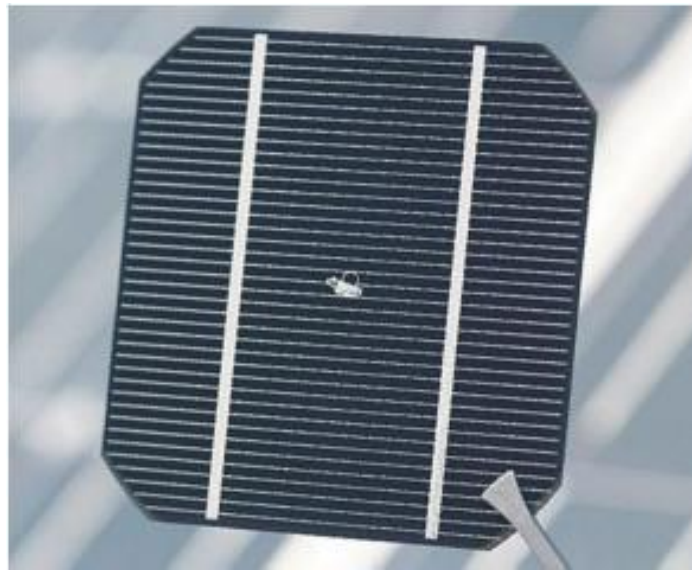


Fonte: (PINHO, GALDINO, 2014)

A eficiência deste tipo de célula é na ordem de 16%, e este valor é dado em função também da espessura das lâminas de silícios empregadas nas células. Atualmente as lâminas de silício são fabricadas na ordem de 0,2 mm, sendo que tanto valores grandes, quanto valores pequenos de espessura afetam o desempenho deste tipo célula (PINHO, GALDINO, 2014).

Este tipo de célula fotovoltaica é considerada de primeira geração.

Figura 17 – Célula fotovoltaica de silício cristalino – c-Si



fonte (PINHO, GALDINO, 2014)

5.2.1.2 Células de Filmes Finos

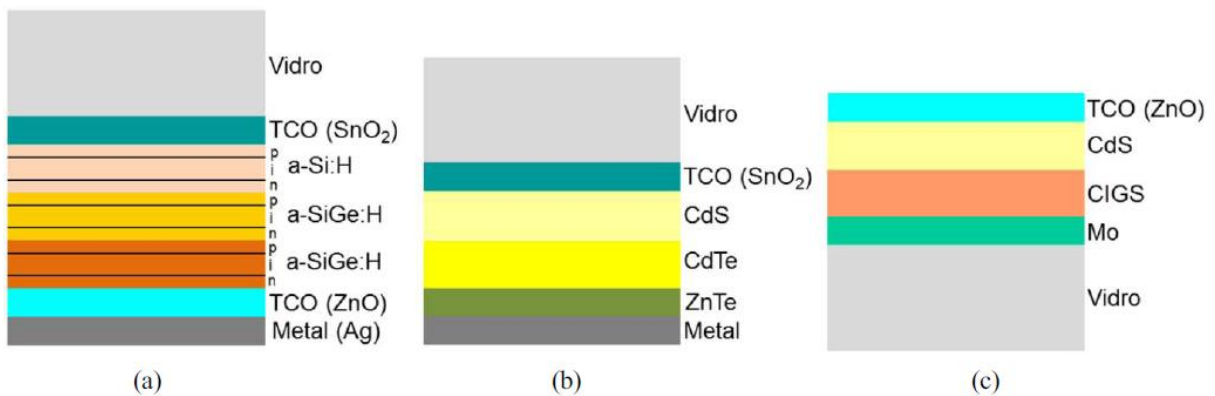
As células fotovoltaicas de filmes finos, segundo Pinho e Galdino (2014) representam cerca de 12% da produção mundial de dispositivos fotovoltaicos. Este tipo de célula fotovoltaica também é considerada como sendo de segunda geração.

Pinho e Galdino (2014) ainda nos descrevem esse tipo de célula:

“A alta absorção óptica destes materiais, se comparados com o c-Si, permite fabricar células fotovoltaicas bastante finas, nas quais camadas de poucos micrômetros (μm) de diferentes matérias semicondutoras são depositadas sucessivamente, por técnicas de produção em larga escala sobre superfícies rígidas ou flexíveis. Desta maneira, o consumo de energia e de materiais semicondutores para a produção das células é reduzido, resultando assim menores custos”.

Os principais materiais usados neste tipo de célula são o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), o disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe), e seus processos de fabricação mostram-se um pouco diferente das células de silício cristalino. Nas células de silício cristalino, cada parte é produzida separada: primeiro, a lâmina de silício; depois, a célula; e, por último, o módulo, enquanto que nas células de filmes finos, todo o processo está integrado (PINHO, GALDINO, 2014).

Figura 18 - Vistas em corte de células fotovoltaicas de filmes finos de diferentes materiais



Fonte: (PINHO, GALDINO, 2014)

Segundo Pinho e Galdino (2014), os módulos comerciais de a-Si:H ainda apresentam uma baixa eficiência, em torno de 10%, o que acaba sendo uma desvantagem, pois acaba ocupando uma área maior, se comparado ao módulo de c-Si. Com relação os módulos de CdTe, estes atingem uma eficiência de 15%, e as células de CIGS podem atingir uma eficiência de laboratório em torno de 19%.

Os filmes de telureto de cádmio representam 5,5% do mercado mundial e, suas células sensíveis a umidade, devem ser encapsuladas e seladas nas bordas para evitar a sua degradação, sendo este encapsulamento com vidro duplo ou vidro e filme polimérico.

5.2.1.3 Células Orgânicas e de Corantes

Duas tecnologias se destacam como sendo de terceira geração: as de corante e as orgânicas.

Segundo Pinho e Galdino (2014), as células fotovoltaicas sensibilizadas por corantes (DSSC – *Dye Sensitized Solar Cells*) também são conhecidas por células de Grätzel, por ter sido ele, que na década de 80, quem iniciou o desenvolvimento desta tecnologia.

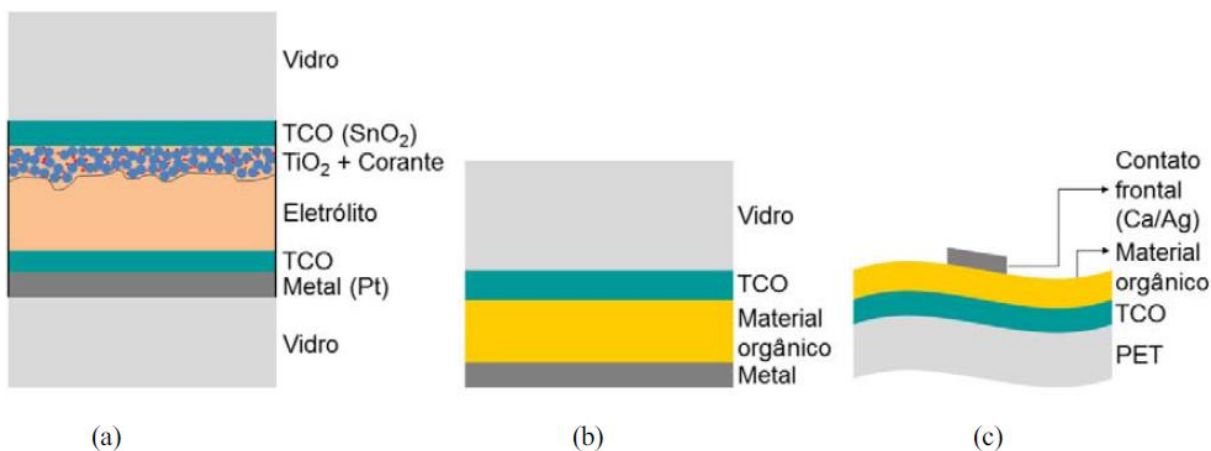
Seu funcionamento é explicado por Pinho e Galdino (2014):

“A estrutura básica composta de um substrato de vidro, um filme condutor transparente (TCO), uma camada composta por TiO₂ (dióxido de titânio) poroso e embebido em um corante com rutênio, um eletrólito (solução condutora salina), outro TCO e finalmente um contato metálico traseiro de platina e vidro. Os fótons incidentes produzem elétrons livres no corante, que são injetados na camada de TiO₂; o fluxo de elétrons é mantido porque o eletrólito “recarrega” o corante com elétrons. Observa-se que o dispositivo não funciona a partir de uma junção pn de material semiconductor, e sim pela absorção de luz num corante, por isso não é considerada uma célula fotovoltaica, e sim fotoeletroquímica” (figura 19 (a)).

Outro ponto observado por Pinho e Galdino (2014) são que alguns fabricantes afirmam não haver grandes preocupações, no momento da instalação, com relação a inclinação desse tipo de módulo, pois devido a estrutura tridimensional das células, a radiação difusa acaba sendo absorvida perfeitamente.

Com relação aos materiais orgânicos, Pinho e Galdino (2014) nos explicam que esses materiais podem ser utilizados na produção de células fotovoltaicas de filme fino. As figuras 19 (b) e (c), nos mostram um corte deste tipo de célula, utilizando tanto um material rígido, como substrato, com um material flexível.

Figura 19 – (a) Esquema simplificado de uma célula fotovoltaica com corante e eletrólito. Diagrama de células fotovoltaicas orgânicas: (b) com vidro e (c) com filme depositado sobre uma superfície de PET flexível.



Fonte: (PINHO, GALDINO, 2014)

As células orgânicas e de corantes são consideradas da terceira geração. Elas ainda possuem uma baixa representatividade no mercado e, apesar de apresentarem eficiência superior a 10% em laboratórios, ainda apresentam uma baixa eficiência, o que inviabiliza uma aplicação em larga escala.

5.2.2 Inversores de tensão

O inversor de tensão é o equipamento responsável pela transformação da corrente contínua, gerada pelo módulo fotovoltaico, em corrente alternada. O inversor deve também possuir uma frequência, amplitude, conteúdo harmônico e tensão de saída sincronizada com a rede de abastecimento (PINHO, GALDINO 2014).

Os inversores podem ser classificados como: **Autocomutado** ou **Comutado pela rede**.

Zilli et al. (2016) nos apresentam alguns pontos sobre os dois tipos existentes.

“Em geral, por motivos de segurança, sugere-se utilizar os inversores comutados pela rede, pois, nesse caso, quando a rede é desligada para a manutenção, os inversores perdem a referência para comutação e desconectam o gerador fotovoltaico da rede, impedindo que esta permaneça ativa em função da operação dos sistemas fotovoltaicos. Com isso, evita-se o risco da ocorrência de acidentes com os funcionários da manutenção das concessionárias.

Por outro lado, caso sejam instalados inversores autocomutados, a edificação não ficará sem energia nos casos que a rede estiver acidentalmente fora do ar; porém, para que isso ocorra com segurança (tanto para SFCR como para a rede elétrica

local), devem-se agregar ao inversor mecanismos de proteção capazes de evitar que a energia gerada pelos SFCR seja injetada numa rede desligada, visando evitar o risco dos referidos acidentes.”

Segundo Pinho e Galdino (2014), os Autocomutados operam com um maior controle de modulação por largura de pulso, permitindo assim um maior controle sobre a forma de onda produzida e o valor de tensão de saída. Eles ainda concluem que: “Devido à sua estabilidade diante de perturbações na rede e à facilidade no controle do fator de potência, o controle por corrente é adotado na maioria dos modelos para SFCR”.

Os inversores também devem possuir a função de proteção, denominada “ilhamento”. O ilhamento ocorre quando a demanda de potência elétrica continua sendo abastecida pelo sistema fotovoltaico, mesmo quando a rede é desenergizada pela companhia de distribuição. Essa situação não é aceitável, pois pode causar acidentes caso haja a manutenção da rede programada pela distribuidora (PINHO, GALDINO, 2014).

Pinho e Galdino (2014) também nos apresentam os principais parâmetros para a escolha de inversores para sistemas conectados à rede:

- a) Forma de onda e distorção harmônica;
- b) Eficiência na conversão de potência;
- c) Potência nominal de saída;
- d) Taxa de utilização;
- e) Tensão de entrada;
- f) Tensão de saída;
- g) Regulação de tensão
- h) Frequência da tensão de saída;
- i) Fator de potência;
- j) Temperatura e umidade do ambiente;
- k) Grau de proteção.

5.3 LEGISLAÇÃO PARA A GERAÇÃO DISTRIBUIDA NO BRASIL

Para ser possível a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, devem ser obedecidas algumas instruções normativas elaboradas, tanto pela ANEEL, quanto pela companhia distribuidora de energia.

Uma delas é a nova Resolução Normativa da Aneel, nº 482, de 17 de abril de 2012, permitindo que o consumidor instale pequenas fontes de energia renováveis (como eólica e painéis fotovoltaicos) em um sistema de compensação de energia, com o objetivo de redução da fatura de energia elétrica e, caso o consumidor gere mais energia do que consuma, ele irá receber da concessionária “créditos de energia”, que poderão ser usados nos meses seguintes ou em outra unidade consumidora, desde que seja do mesmo titular e dentro da área de abrangência da mesma concessionária. Essa resolução faz com que se torne interessante a instalação de fontes renováveis de energia nas cidades, pelos consumidores, não apenas em lugares isolados.

Outro documento importante é o PRODIST (Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional). Esta é uma norma que regula o relacionamento entre as unidades distribuidoras de energia e os demais agentes como microgeradores de energia. Este documento explica como deve funcionar a microgeração e minigeração distribuída.

No dia 24 de novembro de 2015, a ANEEL publicou uma nova Resolução Normativa, de nº 687, alterando alguns pontos da Resolução nº 482 e os módulos 1 e 3 da PRODIST (Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional).

Após a realização do projeto, atendendo a todos os requisitos dos documentos anteriores, deve-se realizar o pedido junto a companhia distribuidora (neste trabalho, a cidade de Feliz-RS, é atendida pela RGE – Rio Grande Energia S/A), devendo também atender as Normas Técnicas internas da concessionária.

A Norma Técnica GED-15303, elaborada pela RGE, tem como finalidade estabelecer:

“... os requisitos técnicos mínimos a serem implementados nas instalações elétricas de consumidores conectados às redes de média e baixa tensão das Distribuidoras CPFL Energia e que desejam a elas ligar, de forma permanente, seus próprios sistemas de geração de eletricidade, nos termos regulamentados por meio da Resolução Normativa (REN) nº 482/2012, de 17/04/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com revisões dadas pelas Resoluções Normativas ANEEL nº 517/2012, de 11/12/2012 e nº 687/2015 de 24/11/2015.”

Tabela 2 – Etapas do Processo de Solicitação de Acesso

ETAPA	AÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO
1 Solicitação de acesso	(a) Formalização da solicitação de acesso, com o encaminhamento de documentação, dados e informações pertinentes, bem como dos estudos realizados.	Acessante	-
	(b) Recebimento da solicitação de acesso.	Distribuidora	-
	(c) Solução de pendências relativas às informações solicitadas na Seção 3.7.	Acessante	Até 60 (sessenta) dias após a ação 1(b)
2 Parecer de acesso	(a) Emissão de parecer com a definição das condições de acesso.	Distribuidora	i. Se não houver necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, até 30 (trinta) dias após a ação 1(b) ou 1(c). ii. Para central geradora classificada como minigeração distribuída e houver necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, até 60 (sessenta) dias após a ação 1(b) ou 1(c).
3 Contratos	(a) Assinatura dos Contratos, quando couber.	Acessante e Distribuidora	Até 90 (noventa) dias após a ação 2(a)
4 Implantação da conexão	(a) Solicitação de vistoria	Acessante	Definido pelo acessante
	(b) Realização de vistoria.	Distribuidora	Até 30 (trinta) dias após a ação 4(a)
	(c) Entrega para acessante do Relatório de Vistoria.	Distribuidora	Até 15 (quinze) dias após a ação 4(b)
5 Aprovação do ponto de conexão	(a) Adequação das condicionantes do Relatório	Acessante	Definido pelo acessante

Fonte: (PRODIST módulo 3, 2012)

6 PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

O sistema fotovoltaico instalado na escola será do tipo on-grid/conectado à rede.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA SALA DE AULA E DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA

A sala de aula, objeto deste trabalho, faz parte atualmente do IFRS - Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Campus Feliz.

O Campus Feliz recebe alunos desde agosto de 2008, quando a escola ainda era chamada de Centro Federal de Educação de Bento Gonçalves (CEFET). Em 1º de fevereiro de 2010, o CEFET passou a se chamar oficialmente IFRS - Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Campus Feliz, devido a políticas governamentais. O Instituto oferece no campus Feliz, 4 cursos, sendo eles: técnico em informática; técnico em meio ambiente; técnico em cerâmica e técnico superior de tecnologia em processos gerenciais (INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2016).

O Campus Feliz está localizado no município de Feliz, no Rio Grande do Sul. Este município está localizado entre duas regiões importantes economicamente para o Estado, a região metropolitana (80 Km de Porto Alegre) e a região serrana do Estado (45 Km de Caxias do Sul). Feliz possuía uma população, em 2014, de 13.068 sendo que aproximadamente 76,18% da sua população reside em área urbana e outros 23,81% em zona rural. A cidade também possui fácil acesso a rodovias importantes, como a RS 122, RS 240 e BR 116 (PREFEITURA MUNICIPAL DE FELIZ, 2016).

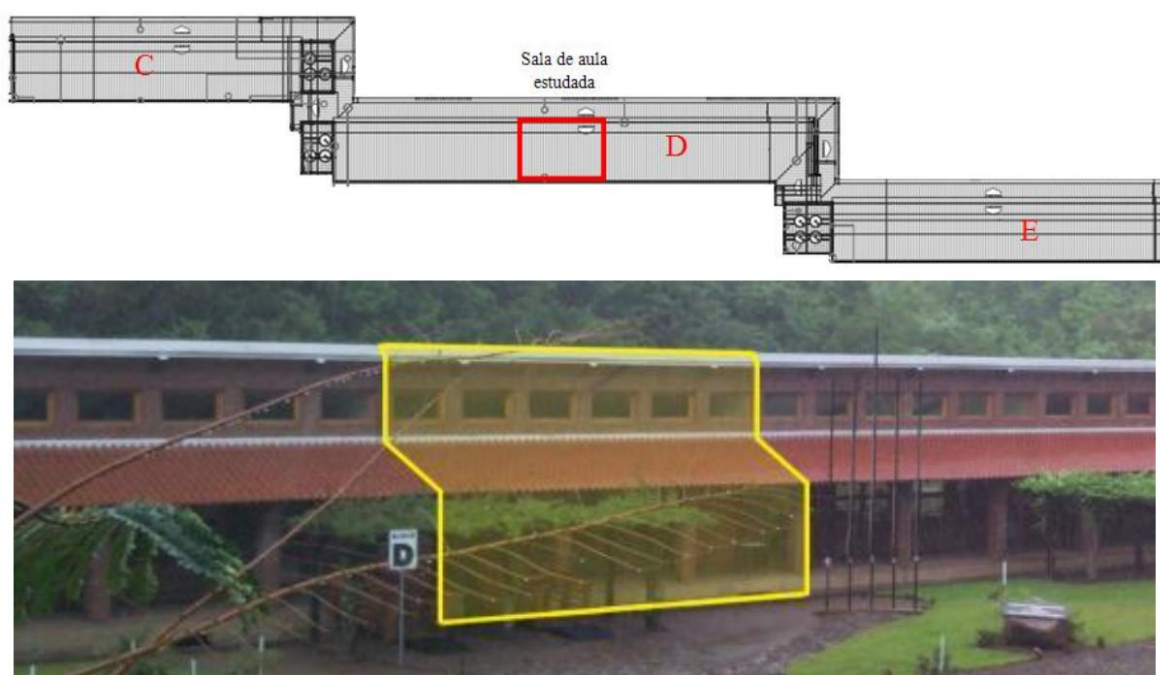
A edificação escolar está localizada no limite da área urbana do município e possui um terreno de 62.000 m², tendo 75 metros de largura e 825 metros de comprimento. A escola possui também três acessos, sendo o principal deles pela rua Princesa Isabel.

Segundo Krum (2011), “a escola teve o seu projeto arquitetônico auxiliado por uma equipe de alunos do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFRGS”.

Bilhalva Junior (2016) ainda nos conta que os métodos construtivos e os materiais escolhidos na construção foram pensados de modo a determinar um baixo impacto ambiental. Na execução, também foram adotadas estratégias de sustentabilidade. Outro cuidado que se teve, com relação ao projeto, foi com relação ao posicionamento solar do prédio, das esquadrias e de sua forma, obtendo, assim, um melhor aproveitamento lumínico da edificação.

Em 2007 a escola foi inaugurada, tendo sido concluídos os blocos C, D, E (figura 20) e a guarita de acesso. As salas de aula foram localizadas no bloco D, enquanto que a área administrativa e a biblioteca ficaram temporariamente no bloco C, e o laboratório ficou alojado no bloco E.

Figura 20 – Localização da sala de aula estudada



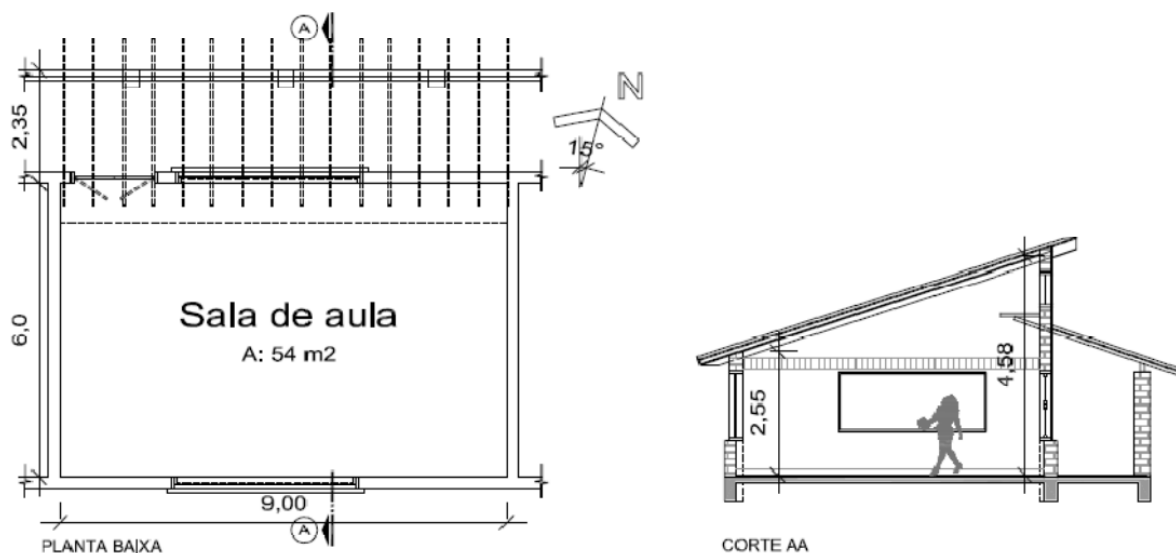
(Fonte: BOCCHESE (2011), adaptado de KRUM (2011))

Segundo dados levantados por Krum (2011), a área útil da sala de aula estudada é de 54 m² (6,0 metros de largura x 9,0 metros de comprimento). Devido à inclinação do forro de cobertura, o pé-direito vai de 2,55 m, no seu ponto mais baixo, localizado junto à fachada Sul, até 4,58 m, no seu ponto mais elevado, junto à fachada Norte.

As paredes externas da sala de aula são de alvenaria dupla (25 cm de espessura), e suas faces externas são aparentes, tendo apenas recebido uma aplicação de hidrofugante (figura 22). As faces internas são constituídas de reboco e pintura com tinta PVA (figura 23). Nas paredes

divisórias, a alvenaria é portante, porém simples, revestida com reboco e pintura do tipo PVA (KRUM, 2011).

Figura 21 – Planta baixa e corte esquemático da edificação



(fonte: KRUM, 2011)

Figura 22 – Paredes externas



(fonte: BOCCHESI, 2011)

Figura 23 – Paredes internas



(fonte: BOCCHESI, 2011)

As janelas adotadas são todas de madeira de reflorestamento, com sistema de basculantes, havendo oito delas na fachada sul e oito na fachada norte, todas possuindo um peitoril de 0,76 metros. Na fachada norte ainda existem 8 janelas basculantes, a uma altura de 3,53 metros do

piso, logo acima de uma prateleira de luz, com dimensões 9,0 x 0,80 x 0,08 metros (BILHALVA JUNIOR, 2016).

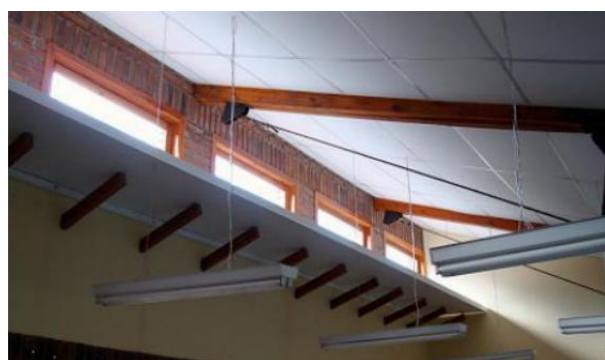
Elas foram projetadas para um melhor aproveitamento da iluminação natural dentro das salas. A iluminação natural incide dentro das salas, principalmente, através das janelas superiores (figura 24), localizadas na fachada norte, onde as prateleiras de luz reduzem o ingresso direto dos raios luminosos (figura 25), reduzindo, assim, o ofuscamento dos ocupantes. Para a iluminação contribuem também as janelas inferiores (figura 26), localizadas nas fachadas norte e sul. O material usado para a produção das esquadrias foi o eucalipto de reflorestamento e o vidro é do tipo simples, com três milímetros de espessura. As esquadrias possuem espera para uma segunda camada de vidro externo (BOCCHESE, 2011).

Figura 24 – Janelas superiores da fachada Norte



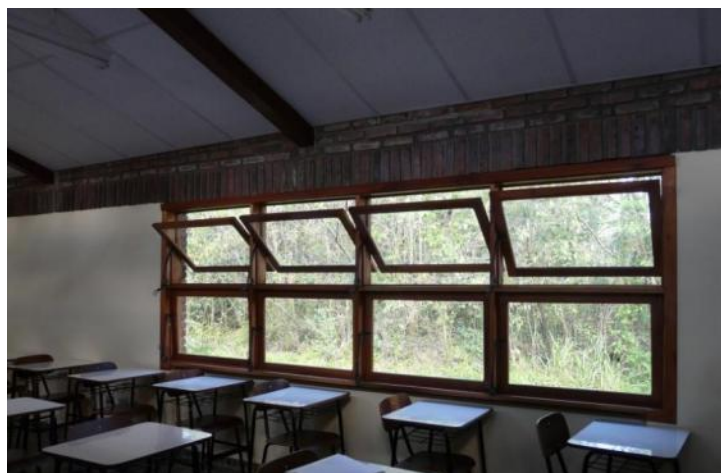
(fonte: BOCCHESE, 2011)

Figura 25 – Janelas superiores e prateleiras de luz



(fonte: BOCCHESE, 2011)

Figura 26 – Janelas inferiores



(fonte: BOCCHESE, 2011)

O piso interno é de placas cerâmicas, nas dimensões de 40x40 cm (figura 17). Nas soleiras foi adotado o basalto serrado, nas dimensões de 11x23 cm.

Figura 27 – Piso interno da edificação



(fonte: KRUM, 2011)

O telhado que cobre a sala é de duas águas desencontradas, sendo uma, a menor, voltada para o Norte e cobrindo a circulação externa; a outra, maior, é voltada para o Sul e cobre as salas de aulas.

6.2 ILUMINAÇÃO SUGERIDA PARA O ESTUDO DE CASO

Este trabalho levará em conta o trabalho de conclusão (TCC) de Edison Estivaleta Bilhalva Junior (2016), o qual levou em consideração 4 cenários distintos de iluminação para esta sala de aula e também nos mostra qual seria a melhor opção.

O sistema de iluminação, que se apresentou como o mais vantajoso, segundo Bilhalva Junior (2016), foi o que contava com: 12 luminárias, contendo, cada uma delas:

- a) 2 lâmpadas LED;
- b) Tubulares do tipo T8;
- c) Cor: Branco frio;
- d) Tamanho: 1.200 mm;
- e) Temperatura de cor: 3.000 Kelvins;

- f) Potência de 11W e 2.000 lúmens por lâmpada;
- g) Potência de 43,6W por luminária;
- h) Eficiência luminosa: 95 lm/W;
- i) Índice de reprodução de cores maior que 80;
- j) Ângulo de abertura de 125°;
- k) Durabilidade de 35.000 horas;

Este sistema lumínico será o considerado na elaboração deste trabalho.

6.3 DEMANDA ENERGÉTICA

Para o cálculo da demanda energética, foi definido que 12 luminárias do tipo LED deverão abastecer a sala de aula, por um período de 8 horas diárias.

Para o cálculo do consumo de energia será utilizada a equação abaixo:

$$\text{Consumo de energia mensal} = (W \cdot h \cdot d) / 1000 \quad (\text{fórmula 3})$$

Sendo:

W = potência total da iluminação;

h= horas de iluminação por dia;

d = dias de utilização por mês;

Tabela 3 – Demanda energética anual

Quantidade	Potência unitária (W)	Potência total (W)	Consumo energético anual (kWh)
12	43,6	523,2	1506,82

(fonte: elaborado pelo autor)

6.4 IRRADIAÇÃO SOLAR

Para realização dos cálculos da irradiação solar incidente em um plano, foram utilizados dados de dois sistemas distintos. Um deles é *Swera*, o site que utiliza dados do INPE (Instituto

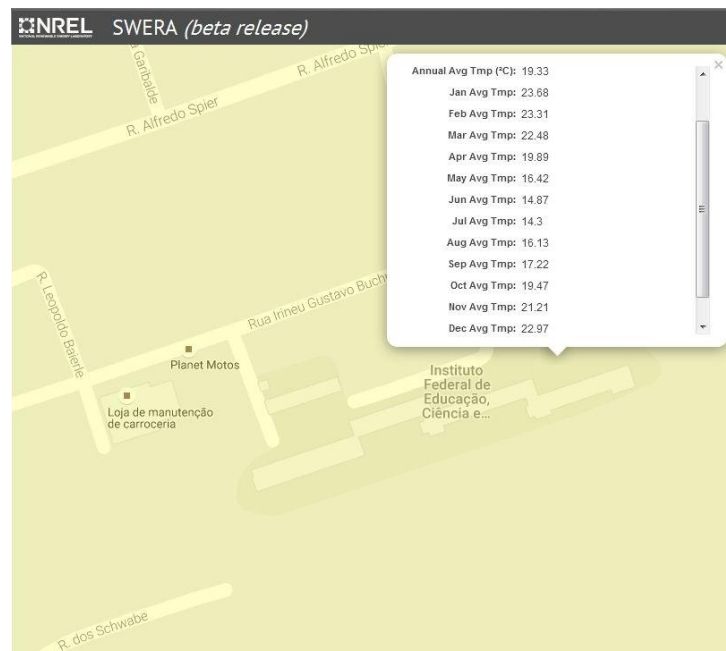
Nacional de Pesquisas Espaciais). Ele nos fornece dados mensais sobre a temperatura de uma determinada região e a sua média mensal de irradiação solar sobre um plano horizontal.

Figura 28 – Radiação média diária sobre um plano horizontal - Swera



(fonte: elaborado pelo autor, com auxílio do SWERA, 2016)

Figura 29 – Temperatura média mensal - Swera



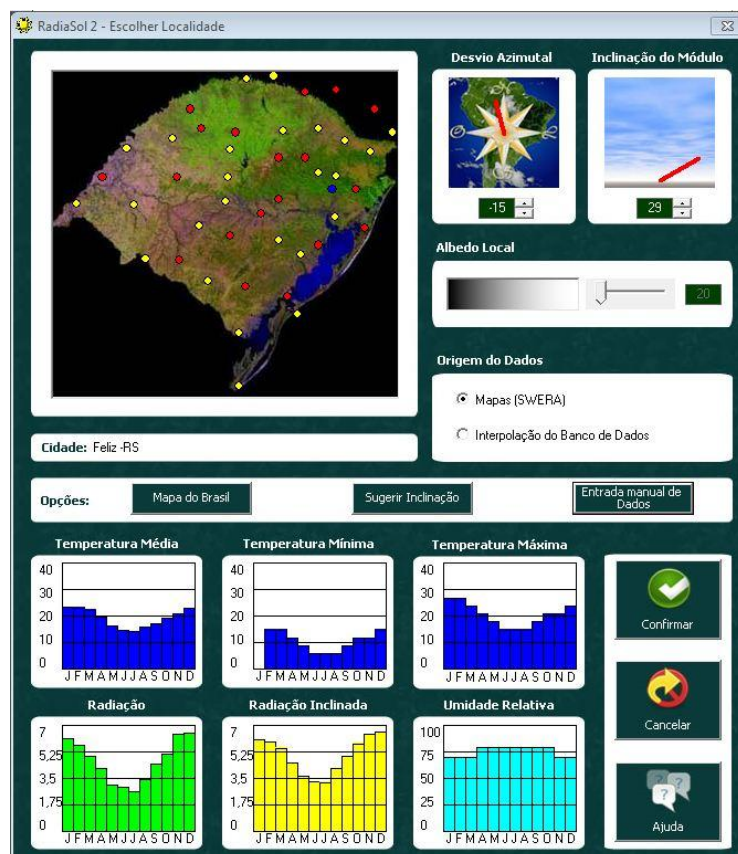
(fonte: elaborado pelo autor, com auxílio do SWERA, 2016)

O outro sistema se chama Radasol 2. Ele foi desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da UFRGS, para fins acadêmicos. Em seu banco de dados não se encontra a cidade de Feliz/RS, sendo necessário cadastrá-la com os dados obtidos anteriormente pelo Swera. A partir do cadastramento da localidade, podemos simular com maior precisão a radiação local, adicionando ao ângulo azimutal do prédio a inclinação ótima dos módulos fotovoltaicos.

O ângulo ótimo dos módulos fotovoltaicos para sistemas conectados à rede, segundo Montenegro (2013), é definido como sendo o mesmo que a latitude local (29°). Esta configuração faz com que haja um melhor aproveitamento da radiação solar anual sobre os módulos.

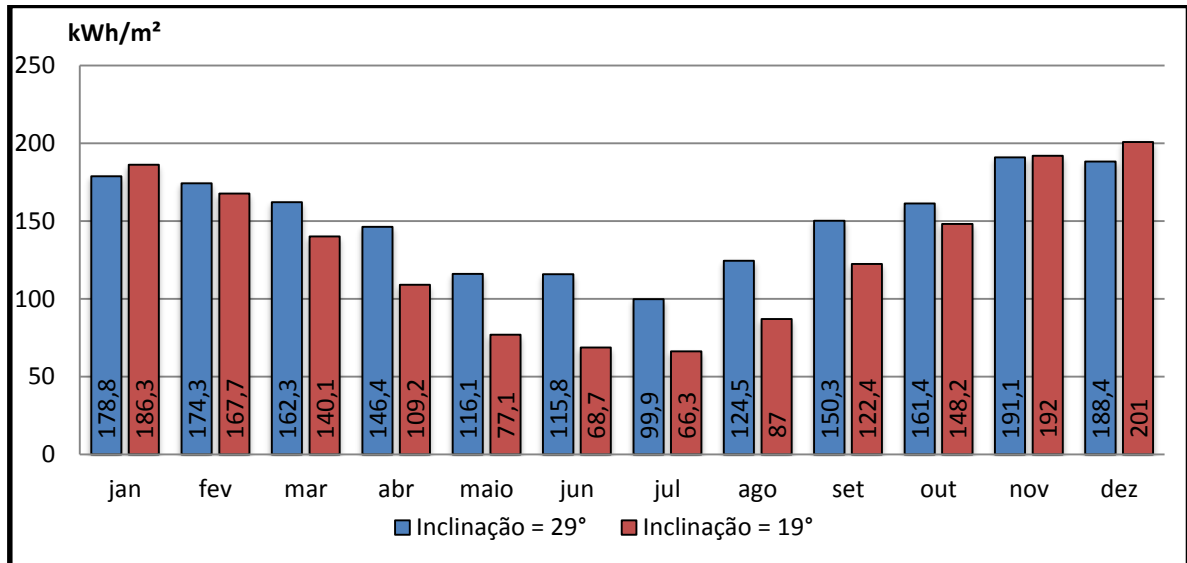
Os valores de irradiação solar são dados pelas tabelas abaixo.

Figura 30 - Tela do software Radasol 2



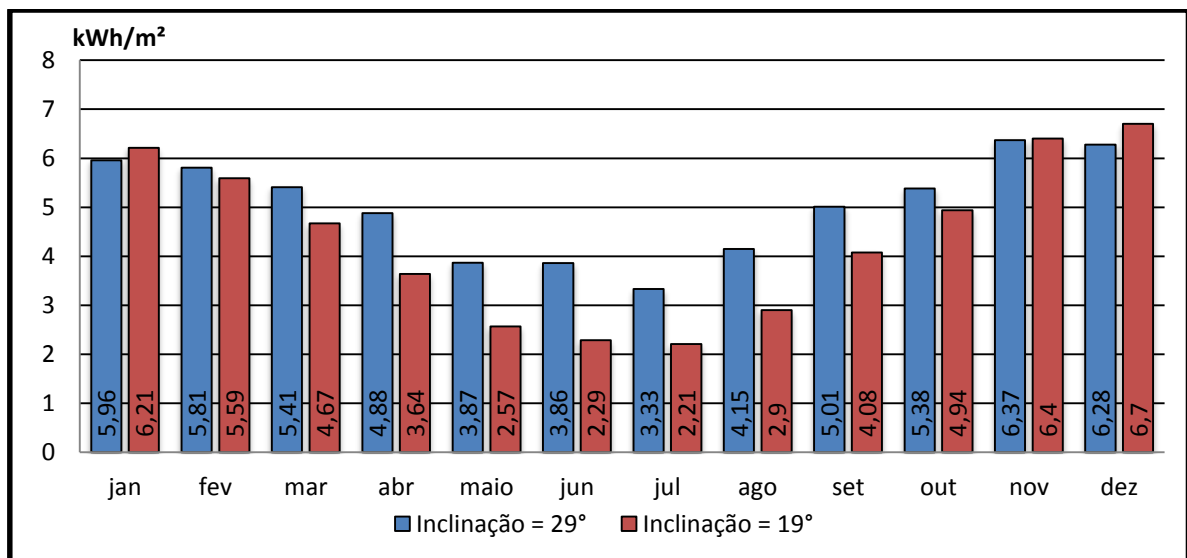
(fonte: elaborado pelo autor, com auxílio do RADIUSOL 2)

Figura 31 - Radiação solar mensal média sobre a superfície do módulo



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 32 - Radiação solar diária média sobre a superfície do módulo



(fonte: elaborado pelo autor)

Foram realizadas duas simulações de radiação incidente em um plano inclinado, sendo um deles 29° (ângulo ótimo) e o outro 19° (ângulo do telhado existente). Os valores encontrados de radiação diária média para o ângulo ótimo foram de 5,026 kWh/m².dia e a radiação anual total ficou em torno de 1809,30 kWh/m². Para o ângulo igual ao do telhado, foi encontrada uma radiação diária média de 4,35 kWh/m².dia, e a radiação anual total ficou em torno de 1566,0 kWh/m².

Nestas simulações se observou que a diferença entre os dois modelos fica em torno dos 13,5%, sendo a inclinação ótima a que produz uma maior radiação sobre os módulos fotovoltaicos. Outro ponto observado foi a inexistência comercial de suportes que adicionam inclinação para telhas do tipo cerâmica. Este suporte poderia ser construído sob medida, mas um projeto estrutural deveria ser concebido, pois o desempenho contra intempéries e o “arrancamento” ao vento se tornam importantes. Neste trabalho será considerado que os módulos ficarão no mesmo plano do telhado, não entrando no escopo deste trabalho o desenvolvimento de um suporte de fixação para telhas cerâmicas.

6.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico serão usados dados dos fornecedores de módulos fotovoltaicos e dos inversores.

6.5.1 Módulo fotovoltaico

Para os módulos fotovoltaicos, foram escolhidos painéis da empresa CanadianSolar modelo CS6P – 265, com potência nominal de 265 W. Estes módulos escolhidos devido ao fato de apresentarem um menor valor de compra e também possuem uma elevada eficiência, em torno de 16%, também levou-se em consideração serem de uma tecnologia considerada consolidada por alguns autores.

Para se calcular a potência nominal do sistema fotovoltaico, será usada a fórmula abaixo, disponível em vídeo aula por Fotovoltaico UFSC (2015), onde é relacionado o consumo com a irradiância solar, também é adicionado um coeficiente, denominado PR, que é diretamente relacionado com as perdas do sistema. O valor de PR encontrado geralmente fica em torno de 23% a 25%.

$$P_{PEAK} = \frac{E * P_{SOL}}{G_{POA} * PR} \quad (\text{fórmula 4})$$

P_{PEAK} = Potência pico do painel fotovoltaico (kWp)

E = Energia consumida diariamente pelas cargas

P_{SOL} = Irradiância de referencia (1kW/m²)

G_{POA} = Irradiação diária no plano dos módulos (kWh/m².dia)

PR = Performace Ratio – Coeficiente de Desempenho

Tabela 4 – Perdas atribuídas ao sistema

Perdas por sombreamento totais	0,0 %
Perdas por aumento de temperatura	6,5 %
Perdas por decaimento	5,0 %
Perdas de corrente continua	1,5 %
Outras perdas	5,0 %
Perdas na conversão	5,0 %
PERDAS TOTAIS	23,0 %

(fonte: adaptado do Software SOLERGO)

Substituindo os valores na formula

$$P_{PEAK} = \frac{1506,82 * 1}{1566,0 * (1 - 23\%)} = 1,25 \text{ kWp}$$

Para se conhecer o número de módulos necessários para atender este projeto, devemos dividir a potência do sistema pela potência unitária de cada módulo.

Número de módulos = 1250 Wp / 265 W = 4,717 módulos.

Como o valor encontrado não é um número inteiro, devemos escolher entre usar 4 ou 5 módulos no projeto.

Uma das premissas assumidas neste projeto é que o sistema fotovoltaico deve atender plenamente o consumo da sala de aula. Outro fator importante é que o sistema, quando gerando mais energia do que é consumida, acaba gerando créditos com a concessionária de energia elétrica, e esses créditos irão fazer com que haja uma redução na conta de energia

elétrica. Estas considerações não são válidas para todos os projetos, visto que a resolução na ANEEL de 2012, autoriza a cobrança de uma tarifa mínima, mesmo não existindo consumo nenhum.

Outro ponto que será analisado no item posterior será com relação às tensões e correntes máximas e mínimas do inversor. Estes valores são dados pela quantidade de módulos ligados, tanto em série, quanto em paralelo.

Como serão usados módulos de 265 W, o cálculo da energia total produzida pelo sistema, nas condições normais (radiação de 1000 W/m² e em temperatura de 25°C), é encontrado como:

$$E_n = [(Radiação\ anual * P\ nominal) / 1000] = [(1566,0 * 1325) / 1000] = 2.074,95\ kWh$$

Para o cálculo da energia real produzida devem ser descontadas algumas perdas. Neste trabalho, foram usados alguns valores usuais, obtidos através do software Solergo.

$$E = E_n * (1 - Perdas) = 2.074,95 * (1 - 0,23) = 1597,712\ kWh$$

Observa-se que, mesmo instalando os módulos fotovoltaicos em um plano pouco favorável, a energia produzida ainda é superior ao necessário para atender as demandas energéticas da sala de aula.

Os módulos fotovoltaicos serão instalados no telhado direcionado para o norte, que situa-se em cima do corredor de acesso às salas. A área dos cinco módulos é de 8,05 m², espaço suficiente para a sua instalação no telhado.

6.5.2 Inversor de corrente

O inversor escolhido foi o da empresa Fronius. Este inversor deve atender às tensões máximas, mínimas, às tensões em aberto e às correntes que passam por ele.

Este inversor é o de menor potência oferecido pela Fronius. Outros inversores pequenos, de outras fabricantes, foram verificados, como a SMA Solar Technology, mas suas características técnicas são praticamente as mesmas, sendo então, o valor do produto a principal razão pela escolha do mesmo.

Será considerado que as temperaturas dos módulos poderão ir de 0° graus, em um dia de extremo frio, até 80°, quando a radiação solar for muito intensa, em um dia de verão.

A faixa de tensão onde acontece o melhor desempenho deste inversor é entre 120-335 V.

A tensão máxima suportada é de 420 V.

A corrente máxima suportada é de 13,3 A.

Utilizando 5 módulos em série temos:

- a) A tensão de operação a 0° fica igual a 164,8 V, dentro da faixa de aproveitamento ótimo.
- b) A tensão de operação a 80° fica igual a 126,9 V, próxima do limite inferior, mas ainda dentro da faixa de aproveitamento ótimo.
- c) A tensão no primeiro momento do dia, quando o módulo está ainda em aberto, a 0° é de 203,1 V.
- d) A corrente dos 5 módulos em série é igual a corrente de 1 módulo, sendo a corrente de operação e a de curto-circuito (8,66 A e 9,23 A, respectivamente) menor que a corrente máxima (13,3 A).

Este inversor pode trabalhar numa faixa de 5 a 8 módulos em série. Como ele está dimensionado em seu limite inferior, o sistema poderá ainda ser ampliado sem a necessidade da troca deste equipamento.

6.5.3 Cabos

Para o dimensionamento dos cabos e fios, utilizados no projeto, será utilizada a equação abaixo, dada pela NBR 5410 de 2004.

$$S = 100 * \frac{2 * L * P * 0,0178}{V^2 * \Delta V} \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

S = área da seção transversal dos condutores (mm²)

L = comprimento do condutor (m)

P = potência (W)

V = tensão de operação (V)

ΔV = queda de tensão admissível (%)

6.5.4 Suporte de fixação

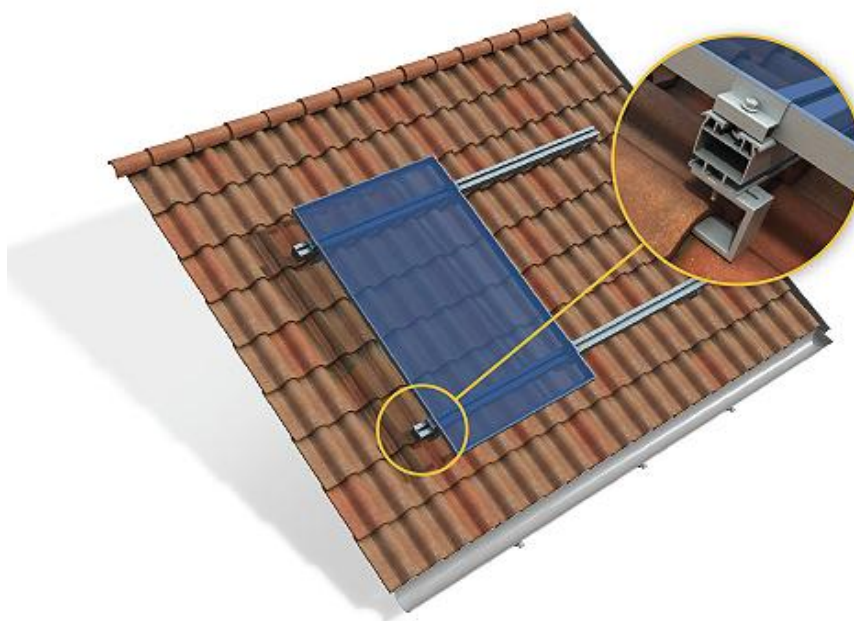
Para a fixação dos módulos fotovoltaicos no telhado, serão utilizados dois kits de montagem da empresa Thesan. Cada kit é dimensionado para suportar até três módulos.

Cada kit da Thesan é composto por:

- a) 2 trilhos de 3,1m em alumínio.
- b) 4 grampos de fixação intermediária para os módulos, com espessura de 39mm a 44mm
- c) 4 grampos de fixação terminal para os módulos, com espessura de 40mm.
- d) 6 ganchos de inox para telhas cerâmicas, com duas regulagens para a adaptação a diversos tipos de telhas.
- e) 10 porcas M8 para telhas em aço inox.
- f) 10 parafusos M8x25 em aço inox

Este suporte possui garantia de doze anos contra defeito de fabricação e materiais.

Figura 33 - Detalhe do suporte de fixação



(fonte: THESAN, 2016)

6.6 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica é um processo muito importante, no momento da tomada de decisão entre implantar um novo projeto ou não. Segundo Maraschin (2016) “Todo empresário ou investidor tem a intenção de obter lucro com seus investimentos, e procura sempre a melhor aplicação possível para seus recursos”. O objetivo deste capítulo é realizar uma análise criteriosa sobre a viabilidade econômica da implantação do sistema fotovoltaico desenvolvido.

Para realização da análise econômica da instalação do sistema, buscou-se, através da internet e de contato com fornecedores, valores de mercado para o módulo fotovoltaico, o suporte de fixação, a mão de obra e os demais acessórios necessários. Também utilizou-se valores de energia elétrica e demais indicadores do trabalho de Bilhalva Junior (2016), visto que eles foram coletados a menos de seis meses e, em contato com a escola, alguns dados não foram fornecidos.

Também serão usados três métodos distintos de análise financeira, o Payback Descontado, o TIR (Taxa Interna de Retorno) e o VPL (Valor Presente Líquido), sendo os dois últimos, segundo Sviech (2013), os mais tradicionais e eficientes métodos de avaliação de investimentos.

O tempo de análise do investimento será de 20 anos. Este valor é bastante razoável, visto que os módulos fotovoltaicos possuem garantia de 25 anos.

6.6.1 Custo de implantação do sistema

O custo total do sistema será composto pelo custo inicial de instalação e pelo custo de manutenção e de operação do sistema.

Tabela 5 - Custos iniciais

Dados	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Módulos fotovoltaicos	899,00	4.495,00
Inversor	3.708,13	3.708,13
Cabos e acessórios	400,00	400,00

Suporte e fixação	940,00	1.880,00
Mão de Obra	1.590,00	1.590,00
Custo Total Inicial	-	12.073,13

(fonte: elaborado pelo próprio autor)

6.6.2 Taxas e tarifas aplicadas

Segundo informações coletadas por Bilhalva Junior (2016), o valor pago pelo kWh à companhia de abastecimento era de 0,8093 reais, em abril de 2016, na bandeira verde. O sistema de bandeiras foi instituído pela ANEEL e ele pode adicionar um valor à tarifa de energia quando existir uma baixa produção das usinas hidroelétricas (que possuem um menor custo de produção), sendo a bandeira verde quando não há incremento e a bandeira vermelha, quando ocorre o maior acréscimo. As bandeiras são divulgadas mensalmente pela ANEEL e podem divergir para diferentes regiões do País.

Neste trabalho, será usada uma TMA (Taxa Mínima de Atratividade) igual a 10% ao ano. O termo TMA significa qual é a mínima taxa de juros que um investidor está disposto a receber quando investe em um novo empreendimento. O valor de 10% ao ano foi definido como sendo um valor facilmente encontrado em aplicações financeiras de renda fixa, sendo estes, considerados papéis seguros para se investir.

As avaliações de investimento do sistema serão feitas considerando os seguintes parâmetros:

- a) degradação anual do sistema, devido ao envelhecimento, igual a 0,8%.
- b) taxa de inflação anual igual a 7,3 %.

6.6.3 Método e Cálculo do Payback Descontado

Segundo Gitman (2004), Payback é o tempo necessário para que a empresa recupere o investimento inicial aplicado em um projeto.

Este método é amplamente utilizado para avaliar projetos de pequeno porte. Isto ocorre devido à simplicidade intuitiva da realização dos cálculos, fazendo que o investidor tenha uma

resposta rápida sobre o tempo que irá demorar para o dinheiro retornar ao caixa da empresa (GITMAN, 2004).

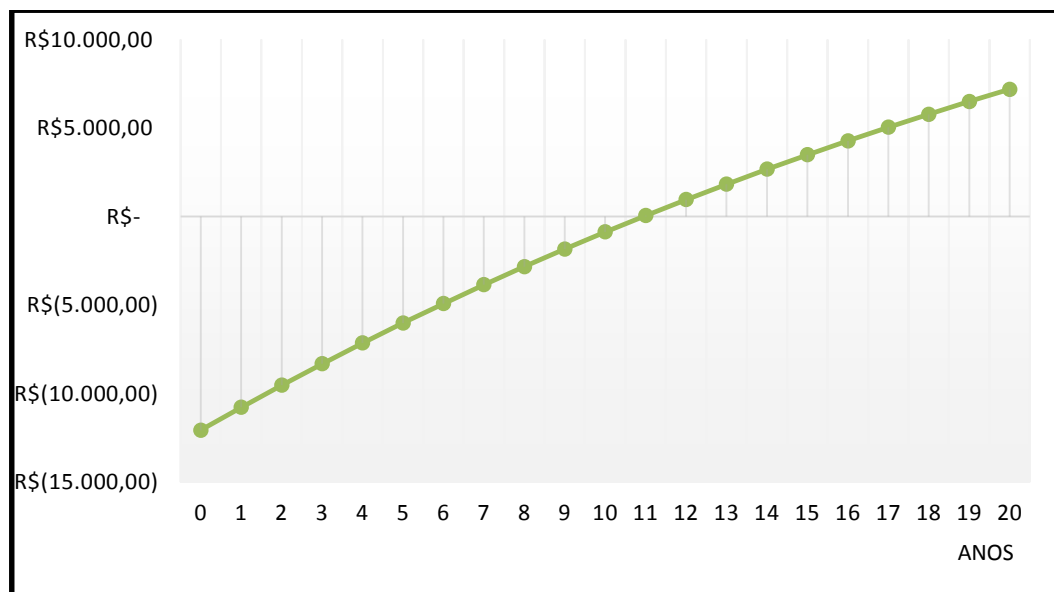
Uma das desvantagens do Payback é não considerar o valor do dinheiro no tempo. Um exemplo seria de que R\$ 1.000,00 hoje possui um poder de compra maior que R\$1.000,00 no futuro. Para acrescentar o valor do dinheiro no tempo foi desenvolvido o Payback Descontado.

Para o cálculo do Payback Descontado, devemos trazer todos os fluxos de caixa para o presente, utilizando, ou uma taxa de juros pré-definida, ou como utilizado na elaboração deste trabalho, a TMA.

Um dos critérios para tomada decisão é:

- Se o período de Payback Descontado for menor que o período máximo aceitável de recuperação, o projeto será aceito.
- Se o período de Payback Descontado for maior que o período máximo aceitável de recuperação, o projeto será rejeitado.

Figura 34 - Payback Descontado



(fonte: elaborado pelo próprio autor)

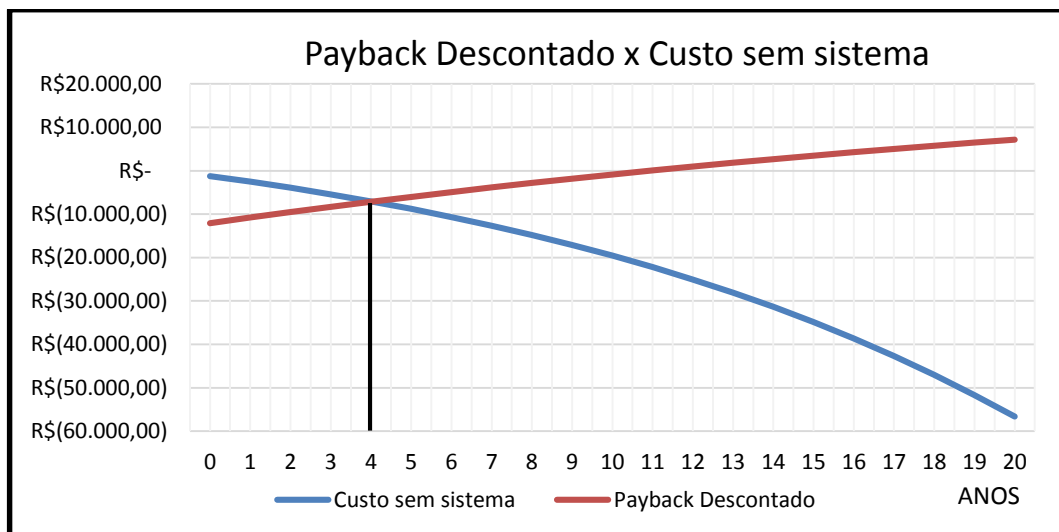
Pelo gráfico acima, podemos verificar que o retorno do investimento ocorre no 11º ano.

Outra análise realizada seria a de comparar os custos de energia elétrica, que se acumulam durante os anos, com o valor abatido na fatura de energia devido à instalação do sistema fotovoltaico.

Nesta análise verificou-se que os custos com energia elétrica são crescentes (sinal negativo no gráfico), enquanto que, apesar de um aporte inicial um pouco maior, a implantação do sistema acaba gerando receita desde o primeiro ano de implantação.

Notou-se, também, que a partir do 4º ano da instalação do sistema, o valor economizado, nas faturas de energia, se equivalem ao total gasto sem o sistema. Esse dado se mostra bastante interessante, pois, a partir do 4º ano, o sistema continuará fazendo com que exista um decréscimo no valor da fatura, enquanto que a inflação e os custos de energia elétrica tendem a continuar subindo.

Figura 35 - Payback Descontado x Custo sem implantação do sistema



(fonte: elaborado pelo próprio autor)

6.6.4 Método e Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo Casarotto Filho e Kopittke (2006), o VPL é um método simples de análise de investimento, onde deve-se trazer para o presente todos os termos do fluxo de caixa e somá-los ao investimento inicial. A alternativa que apresentar o melhor VPL é considerado o melhor investimento.

Para Gitman (2004), “como o VPL leva explicitamente em conta o valor do dinheiro no tempo, é considerado uma técnica sofisticada de orçamento capital”.

Um dos critérios de decisão apresentados por Gitman (2004) é:

- Se o VPL for maior que R\$ 0 (zero), o projeto deverá ser aceito.
- Se o VPL for menor que R\$ 0 (zero), o projeto deverá ser recusado.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TMA)^t} - FC_o \quad (\text{fórmula 6})$$

Sendo:

FC_t = Valor presente das entradas de caixa

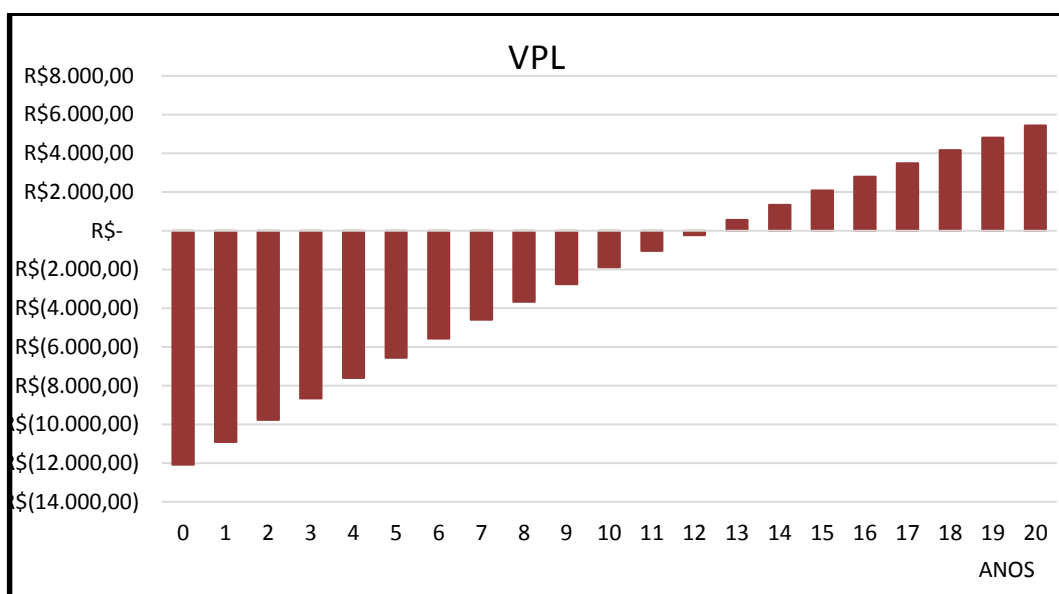
FC_o = Investimento inicial

TMA = Taxa Mínima de Atratividade

t = número de ordem do ano de operações do sistema

Como apenas um dos projetos apresenta um custo inicial, pelo gráfico do VPL, podemos notar que, a partir do 12º ano, o VPL se torna positivo, mostrando que, a longo prazo, o empreendimento se torna viável.

Figura 36 - Valor Acumulado dos Fluxos de Caixa no Presente



(fonte: elaborado pelo próprio autor)

6.6.5 Método e Cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR)

Segundo Gitman (2004), “trata-se da taxa de desconto que iguala o VPL de uma oportunidade a \$ 0,0 (porque o valor presente das entradas de caixa se iguala ao investimento inicial)”, e conclui dizendo: “Matematicamente, a TIR é o valor de TMA que faz com que o VPL se iguale a \$ 0,0”.

O custo de capital, como explanado por Gitman, é o mesmo que a TMA, adotado neste trabalho.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - FC_o \quad (\text{fórmula 7})$$

Sendo

FC_t = Valor presente das entradas de caixa

FC_o = Investimento inicial

TIR = Taxa Interna de Retorno

t = número de ordem do ano de operações do sistema

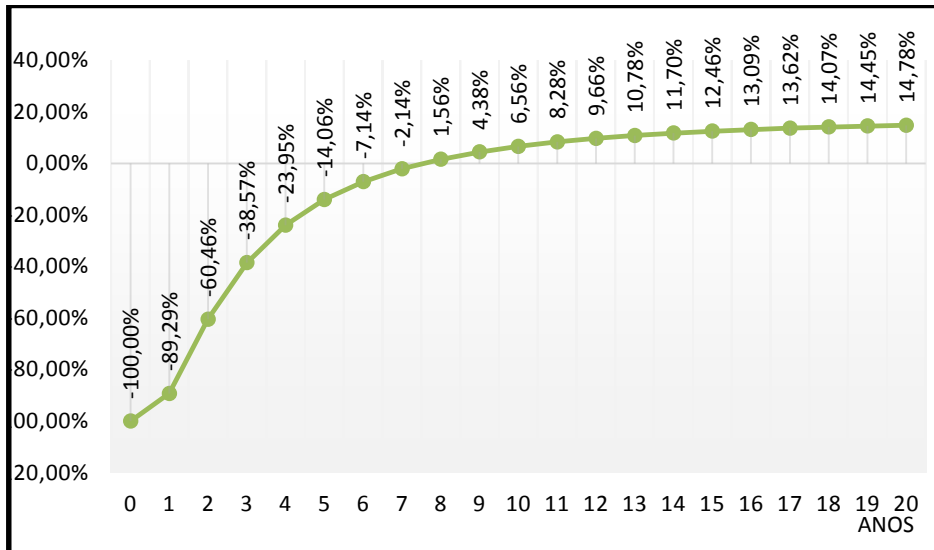
Um dos critérios de decisão apresentados por Gitman (2004) é:

- Se a TIR for maior que o custo de capital, deve-se aceitar o projeto.
- Se a TIR for menor o custo de capital, deve-se rejeitar o projeto.

O valor encontrado nesta análise, para a TIR após 20 anos é de 14,78%, valor maior que a TMA=10%. Logo, o projeto deve ser aceito.

Outro ponto observado é que a TIR é crescente com o tempo, tornando-se atrativa após o 13º ano.

Figura 37- Taxa Interna de Retorno



(fonte: elaborado pelo próprio autor)

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a realização do dimensionamento dos principais equipamentos de um sistema fotovoltaico conectado à rede, com a concessionária de abastecimento de energia elétrica, e a análise financeira do sistema, chegou-se a algumas conclusões.

7.1 CONCLUSÃO

Uma das conclusões encontradas é de que o sistema fotovoltaico, conectado à rede é atrativo financeiramente. O sistema possui um aporte inicial elevado, mas devido à redução no valor da fatura, faz com que a médio e longo prazo, o sistema acabe se pagando.

Outra conclusão seria a ambiental, visto que a cada dia necessitamos de mais energia para as nossas vidas. Um sistema fotovoltaico gera energia por muitos anos, utilizando-se apenas da radiação solar, matéria prima abundante nos dias de hoje e subutilizada comercialmente.

Os valores encontrados no orçamento para mão de obra foram um pouco mais elevados que os encontrados em trabalhos e publicações. Acredita-se que esses valores altos tenham relação com a falta de experiência das empresas e de pessoal qualificado para este tipo de serviço.

O sistema foi dimensionado apenas para uma sala de aula. Na prática, isto não seria o mais eficiente, devendo o sistema ser dimensionado para a escola toda. Outro ponto observado é que o inversor, segundo cálculos realizados, teria capacidade de atender entre 5 e 8 módulos fotovoltaicos. Diante disso, o sistema implantado teria uma capacidade maior de geração de energia, realizando apenas pequenos incrementos na aquisição de mais módulos solares.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para os trabalhos futuros, acredito que uma análise da energia gasta na fabricação dos módulos fotovoltaicos e dos inversores, poderia ser de bastante valia, pois esses equipamentos possuem uma pegada energética e isso também deveria ser analisado, quando se busca um projeto mais sustentável para o planeta.

Outro ponto que acredito ser de bastante importância para trabalhos futuros, seria a de adoção de sistemas híbridos, unindo energia fotovoltaica com energia eólica, ou energia solar fotovoltaica mais energia solar térmica, mostrando vantagens e desvantagens de mais de um tipo de sistema, aplicados em mais de uma edificação.

Um das dificuldades encontradas na elaboração deste trabalho foram as informações desconhecidas, falta de informações e métodos de elaboração de projeto com grandes diferenças entre si. Então, como uma última sugestão, creio que a elaboração de um manual ou de um caderno técnico, onde sejam apresentados vários métodos e comparações entre os mesmos, mostrando as diferenças e semelhanças, vantagens e desvantagens, seria muito produtivo para público em geral, quando necessitasse elaborar um projeto fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos do programa de eficiência energética – PROPEE**. 2013.

_____, Resolução Normativa Nº. 687. 2015.

_____, Resolução Normativa Nº. 482. 2012.

_____. PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Módulo 3: Acesso ao Sistema de Distribuição – seção 3.7: Acesso de micro e minigeração distribuída (Revisão 5 – 14/12/2012). Brasília – DF, 2012. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo3_Revisao_5.pdf. Acesso 19 ago. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA** - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

_____.**NBR-11704**: Sistemas Fotovoltaicos – Classificação. Rio de Janeiro, 2008.

_____.**NBR-16149**: Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro, 2013.

_____.**NBR-16150**: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade. Rio de Janeiro, 2013.

_____.**NBR-16274**: Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, 2014.

AZEVEDO, J. A. M. **Geografia Física: Esfera terrestre e os movimentos da Terra**. 2011. Disponível em <<http://joaquim-geoblog.blogspot.com.br/p/1-ano.html>> Acesso em 20 jul. 2016.

BOCCHESI, M. F. **Projeto luminotécnico em escola no município de Feliz: Otimização do aproveitamento de luz natural**. 2011. 89 f. Trabalho de diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

CRAVEIRO, P. M. A. **Energia solar para a produção de eletricidade**. Coletânea de Artigos: Energia Solar e Eólica, v. 2, 2004.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. UFSM, 1999.

FOTOVOLTAICA UFSC. Aula Introdução ao Dimensionamento dos Sistemas Fotovoltaicos - Parte II (05/11/2015). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=jpoC8SXjVsY&t=4381s>> acesso em: 03 out 2016

GITMAN, J. L. Princípios de administração financeira. 10 ed. São Paulo. Pearson Education do Brasil, 2004.

GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: GTES, 1999.

JUNIOR, E. E. B. **Eficiência energética em iluminação: Impacto econômico do uso de lâmpadas LED e painéis zenitais.** 2016, 104 f. Trabalho de diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

KRUM, C. C. **Desempenho lumínico em edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: um estudo de caso.** 2011, 181 f. dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LISBOA, D. da S. **Dimensionamento de um SFVCR:** Estudo de caso do prédio central do campus universitário de Tucuruí – PA. 2012. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABH7QAI/dimensionamento-sfvcr-estudo-caso-predio-central-campus-universitario-tucuru-pa>> Acesso em set. 2016.

MONTENEGRO, A. A. **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil.** 2013. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://www.dropbox.com/s/vdae4psr79buny/Montenegro2013.pdf>> Acesso em 15 out. 2016.

MARASCHIN, M. K. Análise de viabilidade econômica de um bairro planejado em São José do Norte/RS. 2016, 129 f. Trabalho de diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PAIVA, C. **Energia fotovoltaica:** No Brasil, os primeiros passos. Arcoweb.com. 2009. Disponível em: <<https://arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/energia-fotovoltaica-na-arquitetura-no-brasil-01-03-2009>> Acesso em ago. 2016.

PEREIRA, E. B. et al. Atlas brasileiro de energia solar. INPE, 2006. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf> Acesso em 17 out. 2016.

PINHO, J. T. et al. **Sistemas híbridos: Soluções energéticas para a Amazônia.** MME, Brasília. 2008.

PINHO, J.T.; GALDINO, M. A. (Org). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** 2. Ed. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf> Acesso em 20 jul. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FELIZ. Disponível em: <<http://www.feliz.rs.gov.br/municipio>>. Acesso em: 20 set. 2016.

RADIASOL 2. Software para a geração de dados horários de radiação solar. Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#software>>. Acesso em 15 set. 2016.

REIDER, J. N. **Nuestro Sol**: Octava parte de uma serie relacionada con la energía solar. Boleín abril 2010. 2010. Disponível em: <http://ingenieria.anahuac.mx/boletin/boletin.201004.html>> Acesso em set. 2016.

SARAIVA, M. de F. **Movimento anual do Sol e Estações do ano**. Instituto de Física da UFRGS. 2016. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_movsol.htm> Acesso em nov. 2016.

SITE FOTOVOLTEC.COM.BR. **Energia fotovoltaica**: Tecnologia. 2016. Disponível em: <<http://www.fotovoltec.com.br/front/tecnologia>> Acesso em ago. 2016

SITE REAL-SOLAR.COM. **Energia fotovoltaica**: Como funciona. 2016. Disponível em: <<http://real-solar.com/como-funciona.php>> Acesso em set. 2016.

SVIECH, V.; MANTOVAN, E. A. Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos. *Percurso*, v. 13, 2013.



ZILLES, R. et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Oficina de Textos, 2016.

ANEXO A – ORÇAMENTO MÓDULO FOTOVOLTAICO

iel Solar - Canadian Sol... x +

www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-265wp-canadian-csi-cs6p-265p.html

Primeiros passos DriverPack Solution | D... Suporte para montagem...

busca: Digite o que procura...   O seu carrinho está vazio

Início > Painéis Fotovoltaicos > Painel Solar Fotovoltaico 265Wp - Canadian CSI CS6P-265P - BR

menu

Promoção

Carro Elétrico

Painéis Fotovoltaicos

Kits Energia Solar

- » Sistemas Isolados - Off-grid
- » Conexão à Rede - Grid-tie
- » Bombeamento de Água

Inversores

- » Sistemas Isolados - Off-grid
- » Conexão à Rede - Grid-tie
- » Inversor Carregador




Controladores

Estruturas / Montagem

Baterias


Iluminação

- » Postes - Iluminação Pública
- » Postes e Balizadores de Jardim
- » Luminárias de Parede
- » Luminárias de Piso
- » Sinalizadores Solares
- » Outros Aparelhos

Painel Solar Fotovoltaico 265Wp - Canadian CSI CS6P-265P - BR


10000036 [Mais informações](#)


 ENVIAR IMEDIATO

por: R\$ 899,00

em até de 3X de R\$ 299,67 sem juros [ver todos](#)

à vista: R\$ 863,04 no Boleto (4% desconto)

 COMPARAR PRODUTO

 **COMPRAR**

Descrição **Informação Adicional** Documentação Comentários

Painel Solar Fotovoltaico de 265Wp da Canadian para energia solar residencial ou para empresas. Com nova tecnologia que aumenta a potência da Placa Solar.

ANEXO B – ORÇAMENTO INVERSOR

Inversor Grid Tie - Conecta... x Inversor Fronius Centrium ... x


www.submarino.com.br/produto/14956136/inversor-fronius-centri x inversor fronius galvo

Mais visitados Primeiros passos DriverPack Solution | D... Suporte para montagem...

submarino.com Olá, Visitante
Entre Cadastre-se **Wow!**

Os produtos que você curte. O melhor serviço da Internet.

Navegue pelas lojas



Fronius
FRONIUS GALVO

0 0 0 0

Inversor Fronius Centrium Energy 4200011 Galvo 1.5.1
Potencia 1,50 Kw Bifasico 220v (Cod.14956136)

Vendido e entregue por **MACROLOJA** Últimas unidades

R\$ 3.708,13
10x de R\$ 370,81 sem juros

Cartão Submarino: R\$ 3.708,13
Em até 10x de R\$ 370,81 sem juros
Ganhe até 11.124 Léguas

Frete e prazo:
Não sei meu CEP

ANEXO C – ORÇAMENTO DO KIT DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS

orte para montagem d... x +

www.neosolar.com.br/loja/kit-montagem-fixacao-thesan-telhado-

itados Primeiros passos DriverPack Solution | D... Suporte para montage...

ca: O seu carrinho está vazio

> Estruturas / Montagem > Kit de montagem Thesan para telha cerâmica (com ganchos) - 3 painéis fotovoltaicos

U

moção

ro Elétrico

néis Fotovoltaicos

Energia Solar

stemas Isolados - Off-grid
onexão à Rede - Grid-tie
ombeamento de Água

ersores

stemas Isolados - Off-grid
onexão à Rede - Grid-tie
versor Carregador

ontroladores

ruturas / Montagem

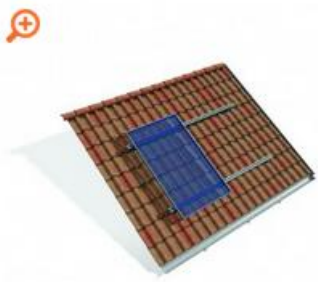
erias

inação

stes - Iluminação
blica

stes e Balizadores de
rdim

minárias de Parede
minárias de Piso



Kit de montagem Thesan para telha cerâmica (com ganchos) - 3 painéis fotovoltaicos

11.010.030 [Mais informações](#)

ENVIO IMEDIATO

por: R\$ 940,00

em até de 3X de R\$ 313,33 sem juros [ver todos](#)

à vista: R\$ 902,40 no Boleto (4% desconto)

COMPARAR PRODUTO

COMPRAR

Descrição

Informação Adicional

Documentação

Comentários

ANEXO D – CATÁLOGO MÓDULO FOTOVOLTAICO



QUARTECH CS6P-260 | 265 | 270P

Canadian Solar's new Quartech modules have significantly raised the standard of module efficiency in the solar industry. They introduced innovative four busbar cell technology, which demonstrates higher power output and higher system reliability. Worldwide, our customers have embraced this next generation of modules for their excellent performance, superior reliability and enhanced value.

NEW TECHNOLOGY

- Reduces cell series resistance
- Reduces stress between cell interconnectors
- Improves module conversion efficiency
- Improves product reliability

KEY FEATURES



- Higher energy yield**
- Outstanding performance at low irradiance
 - Maximum energy yield at low NOCT
 - Improved energy production through reduced cell series resistance



- Increased system reliability**
- Long-term system reliability with IP67 junction box
 - Enhanced system reliability in extreme temperature environment with special cell level stress release technology



- Extra value to customers**
- Positive power tolerance of up to 5 W
 - Stronger 40 mm robust frame to hold snow load up to 5400 Pa and wind load up to 2400 Pa
 - Anti-glare project evaluation
 - Salt mist, ammonia and blowing sand resistance apply to seaside, farm and desert environments*

 **CanadianSolar**



*Black frame product can be provided upon request.

25
years

linear power output warranty

10
years

product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry 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: VDE / MCS / CE / JET / SIL / CEC AU / INMETRO / CQC
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS
Take-e-way / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1

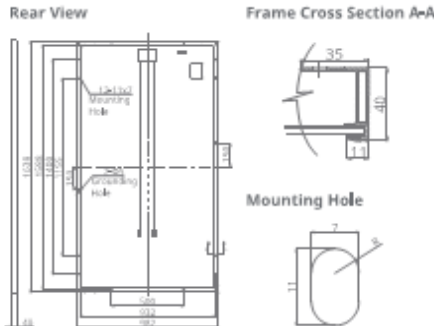


CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with over 14 GW of premium quality modules deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

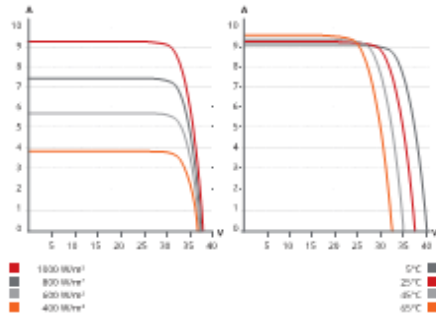
CANADIAN SOLAR INC.

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

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6P-265P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA / STC*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W	270 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A
Module Efficiency	16.16 %	16.47 %	16.79 %
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 - + 5 W		

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

ELECTRICAL DATA / NOCT*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal Max. Power (Pmax)	189 W	192 W	196 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	27.7 V	27.9 V	28.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.80 V	6.88 A	6.97 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.5 V	34.7 V	34.8 V
Short Circuit Current (Isc)	7.39 A	7.48 A	7.55 A

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

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.5 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1638×982×40 mm (64.5×38.7×1.57 in)
Weight	18 kg (39.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) is optional)
Connectors	Friends PV2a (IEC), Friends PV2b (IEC / UL)
Standard	26 pieces, 515 kg (1135.4 lbs)
Packaging	(quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	728 pieces (40' HQ)

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PARTNER SECTION



Scan this QR-code to discover solar projects built with this module



ANEXO E – CATÁLOGO INVERSOR DE CORRENTE

/ Carregadores de Bateria / Tecnologia de Soldagem / Energia Solar



FRONIUS GALVO

/ O inversor à prova do futuro para os sistemas de pequeno porte e de auto-consumo.

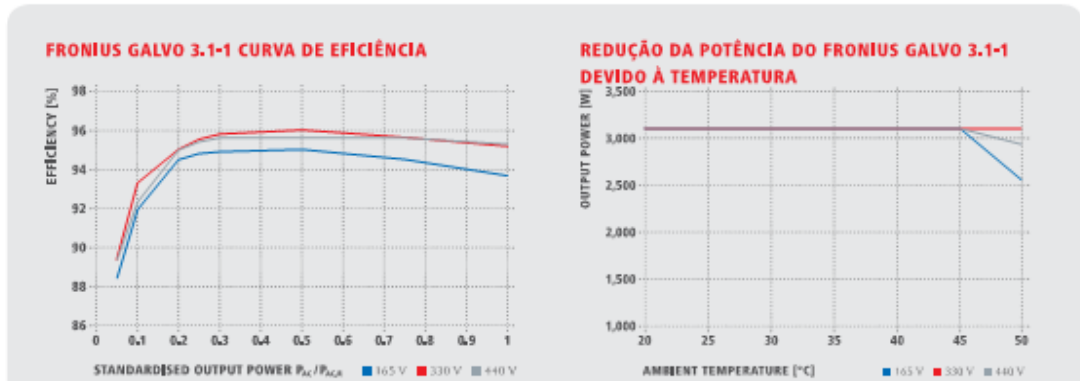


/ Com categorias que vão de energia 1,5-3,1 kW, o Fronius Galvo é otimizado para sistemas de auto-consumo. O relé integrado de gestão de energia permite uma maximização do auto-consumo. Uma série de outros recursos inteligentes tornam o Fronius Galvo um dos inversores mais à prova de futuro da sua classe: por exemplo, o registro de dados integrado, a simples conexão à internet por WLAN, ou a tecnologia plug-in card para adaptação funções adicionais.

DADOS TÉCNICOS FRONIUS GALVO

DADOS DE ENTRADA	GALVO 1,5-1	GALVO 2,0-1	GALVO 2,5-1	GALVO 3,0-1 ¹⁾	GALVO 3,1-1
Potência CC máxima para os $\phi=1$	1.600 W	2.140 W	2.650 W	3.160 W	3.210 W
Máx. corrente de entrada	13,3 A	17,8 A	16,6 A	13,8 A	30,7 A
Máx. tensão de entrada	20,0 V	20,8 V	24,8 V	23,6 V	11,0 V
Tensão tensão MPPT		120 V		105 V	
Mín. tensão de entrada		120 V		105 V	
Tensão tensão nominal		200 V		130 V	
Tensão máxima de entrada		420 V		500 V	
Máx. tensão de entrada (UDC max)		120-315 V		165-440 V	
Número de ligações CC			5		
DADOS DE SAÍDA	GALVO 1,5-1	GALVO 2,0-1	GALVO 2,5-1	GALVO 3,0-1 ¹⁾	GALVO 3,1-1
Saída Nominal	1.500 W	2.000 W	2.500 W	3.000 W	3.100 W
Potência de saída máx.	1.500 VA	2.000 VA	2.500 VA	3.000 VA	3.100 VA
Corrente de saída máx.	7,2 A	9,7 A	12,1 A	14,3 A	15,0 A
Sinal de conexão			1 - NPE 230 V		
Tensão de saída mín.			180 V		
Tensão de saída máx.			270 V		
Frequência			50 Hz / 60 Hz		
Taxa de frequência			45-65 Hz		
Fator de distorção			< 4 %		
Fator de potência			0,93-1 ind / cap		
DADOS GERAIS	GALVO 1,5-1	GALVO 2,0-1	GALVO 2,5-1	GALVO 3,0-1 ¹⁾	GALVO 3,1-1
Dimensões (altura x largura x profundidade)			645 x 431 x 204 mm		
Peso			16,0 kg		
Grav. de Proteção			IP 53		
Classe de Proteção			1		
Categoria de sobretensão (DC / AC)			2 / 3		
Consumo Síntese			< 1 W		
Corrente refrigerador			transformador HF		
Resfriamento			Resfriamento a ar controlado		
Instalação			Montagem interna e externa		
Taxa de temperatura ambiente			-25° a 50° C		
Umidade relativa permitida			0 a 100 %		
Tecnologia de conexão de rede			Parafusos terminal de conexão 2,5 mm ⁵ x 16 milímetros		
Principal tecnologia de conexão			Parafusos terminal de conexão 2,5 mm ⁵ x 16 milímetros		
Certificados e/ou conformidade com standards	DVE / ONDEM E 0105-4712, AS 47752, AS 47774, ASS100, DIN V VDE 0128-5-101, VDE ARN 4105, IEC 62109-1&2, IEC 62116, IEC 61727, CEI 08-490, CEI 0-21, EN 50438, GB T 3559, ABNT NBR 14149				

¹⁾ Disponível para os países onde as restrições 3 kW aplicam. Mais informações sobre a disponibilidade dos inversores no seu país pode ser encontrada em www.fronius.com.br



DADOS TÉCNICOS FRONIUS GALVO

EFICIÊNCIA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
Max. eficiência	95,9 %	96,0 %		96,1 %	
Eficiência Emprego (ηEU)	94,5 %	94,9 %	95,2 %	95,4 %	95,4 %
η at 5 % P _{dc} ²⁾	84,5 / 86,0 / 86,6 %	84,2 / 86,1 / 85,9 %	88,6 / 89,6 / 89,4 %	88,2 / 89,2 / 89,1 %	88,4 / 89,4 / 89,4 %
η at 10 % P _{dc} ²⁾	87,5 / 89,7 / 89,6 %	89,6 / 91,4 / 91,3 %	91,2 / 92,3 / 91,4 %	91,8 / 93,1 / 92,1 %	91,9 / 93,3 / 92,3 %
η at 20 % P _{dc} ²⁾	91,3 / 93,3 / 93,3 %	92,6 / 94,3 / 93,9 %	94,0 / 94,8 / 94,5 %	94,4 / 95,0 / 94,9 %	94,5 / 95,0 / 95,0 %
η at 25 % P _{dc} ²⁾	92,4 / 94,1 / 93,9 %	93,5 / 94,9 / 94,5 %	94,5 / 95,1 / 95,0 %	94,8 / 95,5 / 95,5 %	94,8 / 95,5 / 95,4 %
η at 30 % P _{dc} ²⁾	93,0 / 94,6 / 94,3 %	93,6 / 95,2 / 94,9 %	94,8 / 95,5 / 95,3 %	94,8 / 95,7 / 95,6 %	94,9 / 95,8 / 95,6 %
η at 50 % P _{dc} ²⁾	93,9 / 95,5 / 95,2 %	94,3 / 95,8 / 95,2 %	95,0 / 95,7 / 95,2 %	95,0 / 96,0 / 95,5 %	95,0 / 96,1 / 95,6 %
η at 75 % P _{dc} ²⁾	94,2 / 95,6 / 95,4 %	94,0 / 95,9 / 95,6 %	94,8 / 95,9 / 95,6 %	94,6 / 95,8 / 95,6 %	94,5 / 95,6 / 95,6 %
η at 100 % P _{dc} ²⁾	94,0 / 95,4 / 95,6 %	93,5 / 95,6 / 95,5 %	94,4 / 95,7 / 95,5 %	93,9 / 95,4 / 95,5 %	93,7 / 95,2 / 95,5 %
MPP adaptação eficiente				> 99,9 %	

DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
Medição de isolamento CC		Alerta / intercepção da luz solar (depende da configuração de cada país) com Riso = 600 kΩ			
Comportamentos de sobrecarga		Mudança do ponto de operação, limitação da produção			
Desparar CC		integrado			

INTERFACES	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
WLAN / Ethernet LAN		Fronius Solarweb / Fronius Solarweb, Fronius Modbus TCP, ISON			
6 inputs or 4 digital inputs/outputs		Interface com receptor de telecomando			
USB (A socket) ³⁾		Para entradas USB			
2x RS422 (RJ45 socket) ³⁾		Fronius Solar Net, protocolo In-Interface			
Signalling output ³⁾		Gerenciamento de energia (saída de relé livre de potencial)			
Datalogger anti-Weather		Integrado			

¹⁾ disponível para os países onde as restrições 3 kW aplicam ²⁾ E a U_{mppt max} / U_{dc1} / U_{mppt max} ³⁾ também disponível na versão simples. Mais informações sobre a disponibilidade dos inversores no seu país pode ser encontrada em www.fronius.com.br

/ Carregadores de Bateria / Tecnologia de Soldagem / Energia Solar

NÓS TEMOS TRÊS DIVISÕES E UM OBJETIVO: SUPERAR LIMITES.

/ Seja em Carregadores de Bateria, Tecnologia de Soldagem ou na Energia Solar - a nossa missão é claramente definida: ser líder em tecnologia e qualidade. Com mais de 3.000 funcionários em todo o mundo, nós superamos os limites do que é possível, como prova disso temos 737 patentes ativas. Enquanto os outros se desenvolvem lentamente, nós ultrapassamos barreiras. Para obter mais informações sobre todos os produtos Fronius e nossos parceiros de distribuição e representantes, visite www.fronius.com

Filial RS
R. Inspetor Valdemar E. Arruda,
309, Cinquentenário
Casas do Sul
CEP 95012-640 - RS

Filial SP Interior
R. Padre Francisco Van
Der Maas, 12-25
Jd. Contorno - Bauru
CEP 17047-020

Filial MG
Rua LL, 213
Arvoredo
Contagem - MG
CEP: 32311-888
Tel +55 31 3472-6000

Home Office AM
+55 92 8249-1415

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

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
ventas.solar@fronius.com
www.fronius.com.br

O texto e as imagens correspondem ao estado técnico atual no momento da impressão. Reservamos o direito de alterar o texto e as imagens sem aviso prévio. Todos os direitos reservados. © 2011 Fronius AG. Todos os direitos reservados.

8106-880-020-094 (jul 2011) 2/14